

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 8月 8日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-231614

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-231614 ]

出 願 人

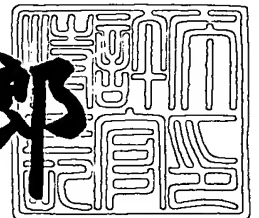
Applicant(s):

本田技研工業株式会社

2003年 4月 8日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3025101

【書類名】 特許願

【整理番号】 H102149101

【提出日】 平成14年 8月 8日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F02D 41/14  
G05B 11/36

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研  
究所内

【氏名】 安井 裕司

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095566

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 友雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 059455

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 参照入力を算出する参照入力算出手段と、

当該参照入力を制限するための制限値を算出する制限値算出手段と、

当該算出された制限値を、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムの一方の変調アルゴリズムに入力することより、当該一方の変調アルゴリズムからの出力である変調出力を算出する変調出力算出手段と、

当該算出された変調出力に応じて、制御対象への制御入力を算出する制御入力算出手段と、

を備え、

前記制限値算出手段は、前記制限値を、前記参照入力の絶対値が前記変調出力の絶対値よりも大きいときには、前記参照入力と正負が同じでかつ前記変調出力と絶対値が等しい値に設定するとともに、前記参照入力の絶対値が前記変調出力の絶対値以下のときには、前記参照入力と等しい値に設定することを特徴とする制御装置。

【請求項 2】 前記制御対象の出力を検出する検出手段をさらに備え、

前記参照入力算出手段は、前記検出された制御対象の出力と所定の目標値との偏差である出力偏差に基づいて、前記参照入力を算出し、

前記制御入力算出手段は、前記制御入力を、前記変調出力に応じて、前記検出された制御対象の出力を前記目標値に収束させるような値に設定することを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 3】 前記参照入力算出手段は、前記参照入力を、前記出力偏差の正負に応じた異なる所定の値を当該出力偏差に乗算した値に設定することを特徴とする請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】 参照入力を算出する参照入力算出手段と、

当該算出された参照入力を $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムに入力することにより、当該 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムからの出力である変調出力を算出する変調出力算出手段と

当該算出された変調出力に応じて、制御対象への制御入力を算出する制御入力算出手段と、

を備え、

前記変調出力算出手段は、

前記 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムにおける、前記参照入力と前記変調出力との偏差である入力偏差の積分値を、所定の制限範囲内の値に制限する制限手段を有することを特徴とする制御装置。

【請求項 5】 前記制御対象の出力を検出する検出手段をさらに備え、

前記参照入力算出手段は、前記検出された制御対象の出力と所定の目標値との偏差である出力偏差に基づいて、前記参照入力を算出し、

前記制御入力算出手段は、前記制御入力を、前記変調出力に応じて、前記検出された制御対象の出力を前記目標値に収束させるような値に設定することを特徴とする請求項 4 に記載の制御装置。

【請求項 6】 前記参照入力算出手段は、前記参照入力を、前記出力偏差の正負に応じた異なる所定の値を当該出力偏差に乗算した値に設定することを特徴とする請求項 5 に記載の制御装置。

【請求項 7】 内燃機関の排気通路を流れる排気ガスの空燃比を表す検出信号を出力する空燃比センサと、

当該空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差である出力偏差に基づいて、参照入力を算出する参照入力算出手段と、

当該参照入力を制限するための制限値を算出する制限値算出手段と、

当該算出された制限値を、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムの一方の変調アルゴリズムに入力することより、当該一方の変調アルゴリズムからの出力である変調出力を算出する変調出力算出手段と、

当該算出された変調出力に応じて、前記空燃比センサの出力を前記目標値に収束させるように、前記内燃機関に供給される混合気空燃比を制御する空燃比制御手段と、

を備え、

前記制限値算出手段は、前記制限値を、前記参照入力の絶対値が前記変調出力

の絶対値よりも大きいときには、前記参照入力と正負が同じでかつ前記変調出力と絶対値が等しい値に設定するとともに、前記参照入力の絶対値が前記変調出力の絶対値以下のときには、前記参照入力と等しい値に設定することを特徴とする制御装置。

【請求項 8】 前記排気通路には、触媒装置が設けられており、

前記参照入力算出手段は、前記参照入力を、前記出力偏差の正負に応じた異なる所定の値を当該出力偏差に乗算した値に設定することを特徴とする請求項 7 に記載の制御装置。

【請求項 9】 内燃機関の排気通路を流れる排気ガスの空燃比を表す検出信号を出力する空燃比センサと、

当該空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差である出力偏差に基づいて、参照入力を算出する参照入力算出手段と、

当該算出された参照入力を  $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムに入力することより、当該  $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムからの出力である変調出力を算出する変調出力算出手段と、

当該算出された変調出力に応じて、前記空燃比センサの出力を前記目標値に収束させるように、前記内燃機関に供給される混合気の空燃比を制御する空燃比制御手段と、

を備え、

前記変調出力算出手段は、

前記  $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムにおける、前記参照入力と前記変調出力との偏差である入力偏差の積分値を、所定範囲内の値に制限する制限手段を有することを特徴とする制御装置。

【請求項 10】 前記排気通路には、触媒装置が設けられており、

前記参照入力算出手段は、前記参照入力を、前記出力偏差の正負に応じた異なる所定の値を当該出力偏差に乗算した値に設定することを特徴とする請求項 9 に記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムまたは $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムを用いることにより、制御対象を制御する制御装置に関する。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

従来、この種の制御装置として、例えば特開2001-154704号公報に記載されたものが知られている。この制御装置は、制御対象の出力を検出し、その検出結果をアナログ量の検出信号として出力する検出手段と、上位装置から入力されるアナログ量の目標値と検出信号との偏差である参照入力を演算する参照入力演算手段と、演算された参照入力を $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムに基づいて1ビットデジタル信号に変換する変換手段と、変換手段からの1ビットデジタル信号を補償し、制御対象への制御入力として出力する補償手段とを備えている（同公報の図6参照）。

#### 【0003】

この制御装置では、参照入力演算手段により、目標値と検出信号との偏差である参照入力（アナログ量）が演算され、この参照入力は、変換手段によって1ビットデジタル信号に変換され、さらに補償手段により補償された後、制御入力として制御対象に入力される。以上の構成により、目標値と制御対象の出力との偏差である参照入力を打ち消すように、参照入力と逆位相の制御入力が生成され、制御対象に入力される。その結果、制御対象の出力が目標値に収束するようにフィードバック制御される。

#### 【0004】

また、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムでは、当該 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムに入力された参照入力と当該 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムから出力された変調出力との偏差である入力偏差が、積分され、その入力偏差の積分値を量子化した値が変調出力として出力される。具体的には、変調出力は、入力偏差の積分値が値0以上のときには値1、値0未満のときには値-1としてそれぞれ算出される。

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上記従来の制御装置によれば、制御対象の特性によっては、変換手段に入力さ

れる参照入力 $r$ の絶対値が、変調出力 $y$ の絶対値よりも大きくなることがあり、その場合には、上記 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムでの入力偏差の積分値の絶対値が増大化する。このように入力偏差の積分値の絶対値が増大化した場合、参照入力 $r$ の符号（正負）の反転に伴って入力偏差の符号が反転しても、増大化した積分値の絶対値が減少するまでの間、変調出力 $y$ の符号が反転することなく維持されてしまう。すなわち、参照入力 $r$ の符号反転と変調出力 $y$ の符号反転との間でのむだ時間が生じるため、制御対象の出力 $y$ の目標値への収束性が低下し、制御性の低下を招いてしまう。また、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムに代えて、 $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムを用いた場合にも、参照入力 $r$ の絶対値が変調出力 $y$ の絶対値よりも大きくなると、参照入力 $r$ の積分値の絶対値が変調出力 $y$ の積分値の絶対値を上回るようになることで、参照入力 $r$ の積分値と変調出力 $y$ の積分値との偏差の絶対値が増大するため、参照入力 $r$ の符号が反転しても、参照入力 $r$ の積分値の絶対値が変調出力 $y$ の積分値の絶対値よりも小さくなるまでの間、偏差の符号すなわち変調出力 $y$ の符号が反転することなく維持されてしまう。その結果、上記と同様の問題が生じる。

#### 【0006】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムの一方を用いることにより制御対象を制御する場合において、一方の変調アルゴリズムの入出力間での符号反転の際のむだ時間を低減することができ、それにより、制御対象の出力 $y$ の目標値への収束性を向上させることができ、制御性を向上させることができる制御装置を提供することを目的とする。

#### 【0007】

##### 【課題を解決するための手段】

この目的を達成するために、請求項1に係る制御装置1は、参照入力 $r(k)$ 、DSMVO2を算出する参照入力算出手段（ECU2、ステップ22、33～36）と、参照入力を制限するための制限値 $r_1(k)$ 、DSMVO2Lを算出する制限値算出手段（ECU2、リミッタ24b、29b、ステップ37～41）と、算出された制限値を、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムの一方の変調アルゴリズムに入力することより、一方の変調アルゴリズムからの

出力である変調出力（DSM出力 $u(k)$ 、DSMSGNS（ $k$ ）、SDM出力 $u'(k)$ ）を算出する変調出力算出手段（ECU2、DSMコントローラ24、SDMコントローラ29、ステップ42～46）と、算出された変調出力に応じて、制御対象への制御入力（目標空燃比KCMD）を算出する制御入力算出手段（ECU2、ステップ6, 25, 26）と、を備え、制限値算出手段は、制限値を、参照入力の絶対値が変調出力の絶対値よりも大きいときには、参照入力と正負が同じでかつ変調出力と絶対値が等しい値に設定する（ステップ38, 40）とともに、参照入力の絶対値が変調出力の絶対値以下のときには、参照入力と等しい値に設定する（ステップ41）ことを特徴とする。

#### 【0008】

この制御装置によれば、参照入力を制限するための制限値が、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムの一方の変調アルゴリズムに入力されることにより、一方の変調アルゴリズムからの出力である変調出力が算出され、この変調出力に応じて、制御対象への制御入力算出される。また、制限値は、参照入力の絶対値が変調出力の絶対値よりも大きいときには、参照入力と正負が同じでかつ変調出力と絶対値が等しい値に設定されるとともに、参照入力の絶対値が変調出力の絶対値以下のときには、参照入力と等しい値に設定される。このように、制限値が、その絶対値が変調出力の絶対値以下の値になるように算出されるので、従来と異なり、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムにおいて、これに入力された制限値と変調出力との偏差の積分値の絶対値が増大化するのを回避でき、それにより、制限値と変調出力との偏差の符号が反転した際、変調出力の符号を迅速に反転させることができ、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムにおける入出力間での符号反転の際のむだ時間の発生を防止することができる。その結果、例えば、制御入力をむだ時間や応答遅れの大きい特性を有する制御対象に入力することで、参照入力を制御対象の出力として再現させる場合でも、参照入力と制御対象の出力との間の誤差を低減することができ、制御性を向上させることができる。また、制限値が $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムに入力される場合でも、制限値が、その絶対値が変調出力の絶対値以下の値になるように算出されるので、従来と異なり、 $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムにおいて、制限値の積分値と変調出力の積分値との偏差の絶対値が増大することが

なくなること、制限値の積分値と変調出力の積分値との偏差の符号が反転した際、変調出力の符号を迅速に反転させることができ、 $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムにおける入出力間での符号反転の際のむだ時間の発生を防止することができる。その結果、上記 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムの場合と同様の作用効果を得ることができる（なお、本明細書における、「参照入力」の算出および「制御入力」の算出などの「算出」は、プログラムにより演算することに限らず、ハードウェアによりそれらを表す電気信号を生成することを含む）。

## 【0009】

請求項2に係る発明は、請求項1に記載の制御装置1において、制御対象の出力を検出する検出手段（酸素濃度センサ15）をさらに備え、参照入力算出手段は、検出された制御対象の出力（酸素濃度センサ15の出力 $V_{out}$ ）と所定の目標値 $V_{op}$ との偏差である出力偏差（出力偏差の予測値 $PREVO2$ ）に基づいて、参照入力を算出し（ステップ22, 33～36）、制御入力算出手段は、制御入力（目標空燃比 $K_{CMD}$ ）を、変調出力（DSM出力 $u(k)$ 、DSMSGNS(k)）に応じて、検出された制御対象の出力を所定の目標値に収束させるような値に設定する（ステップ6, 26）ことを特徴とする。

## 【0010】

この制御装置によれば、参照入力、検出された制御対象の出力と所定の目標値との偏差である出力偏差に基づいて算出され、制御対象への制御入力、変調出力に応じて、検出された制御対象の出力を所定の目標値に収束させるような値に設定される。前述したように、請求項1に記載の制御装置では、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムにおける入出力間での符号反転の際のむだ時間の発生が防止されるので、参照入力すなわち制御対象の出力と所定の目標値との出力偏差を、制御入力すなわち制御対象の出力に迅速に反映させることができ、その結果、制御対象の出力の目標値への収束性を向上させることができる。

## 【0011】

請求項3に係る発明は、請求項2に記載の制御装置1において、参照入力算出手段は、参照入力 $r(k)$ 、DSMVO2を、出力偏差（予測値 $PREVO2$ ）の正負に応じた異なる所定の値（非線形ゲイン $G_d$ 、 $K_{RDSM}$ ）を出力偏差に

乗算した値に設定する（ステップ 3 6）ことを特徴とする。

【0 0 1 2】

この制御装置によれば、参照入力 $r$ が、出力偏差の正負に応じた異なる所定の値を出力偏差に乗算した値に設定されるので、制御対象の出力の目標値への収束速度を、参照入力すなわち制御対象の出力と所定の目標値との偏差の正負に応じて、異なる速度に設定することができ、制御の汎用性を向上させることができる。

【0 0 1 3】

請求項 4 に係る制御装置 1 は、参照入力 $r(k)$ を算出する参照入力算出手段（ECU 2）と、算出された参照入力を $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムに入力することにより、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムからの出力である変調出力（DSM 出力 $u(k)$ ）を算出する変調出力算出手段（ECU 2、DSM コントローラ 2 4）と、算出された変調出力に応じて、制御対象への制御入力を算出する制御入力算出手段（ECU 2）と、を備え、変調出力算出手段は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムにおける、参照入力と変調出力との偏差である入力偏差の積分値（偏差積分値 $\sigma_d(k)$ ）を、所定の制限範囲内の値（制限値 $\sigma_{d1}(k)$ ）に制限する制限手段（ECU 2、リミッタ 2 4 k）を有することを特徴とする。

【0 0 1 4】

この制御装置によれば、参照入力 $r$ が、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムに入力されることにより、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムからの出力である変調出力が算出され、この変調出力に応じて、制御対象への制御入力が算出される。この変調出力の算出の際、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムにおいて、参照入力と変調出力との偏差である入力偏差の積分値が、所定の制限範囲内の値に制限されるので、入力偏差の符号が反転する際、変調出力の符号が反転するまでのむだ時間の長さを、この制限範囲によって決定することができる。したがって、この制限範囲を適切に設定することにより、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムの入出力間での符号反転の際のむだ時間を低減することができる。

【0 0 1 5】

請求項 5 に係る発明は、請求項 4 に記載の制御装置 1 において、制御対象の出力を検出する検出手段（酸素濃度センサ 1 5）をさらに備え、参照入力算出手段

は、検出された制御対象の出力（酸素濃度センサ 15 の出力  $V_{out}$ ）と所定の目標値  $V_{op}$  との偏差である出力偏差（予測値  $PREVO2$ ）に基づいて、参照入力を算出し、制御入力算出手段は、制御入力（目標空燃比  $KCMD$ ）を、変調出力（ $DSM$  出力  $u(k)$ ）に応じて、検出された制御対象の出力を所定の目標値に収束させるような値に設定することを特徴とする。

## 【0016】

この制御装置によれば、参照入力が、検出された制御対象の出力と所定の目標値との偏差である出力偏差に基づいて算出され、制御対象への制御入力が、変調出力に応じて、検出された制御対象の出力を所定の目標値に収束させるような値に設定される。前述したように、請求項 4 に記載の制御装置では、制限範囲を適切に設定することにより、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムにおける入出力間の符号反転でのむだ時間が低減されるので、参照入力すなわち制御対象の出力と所定の目標値との出力偏差を、制御入力すなわち制御対象の出力に従来よりも短時間で反映させることができ、その結果、制御対象の出力の目標値への収束性を向上させることができる。

## 【0017】

請求項 6 に係る発明は、請求項 5 に記載の制御装置 1 において、参照入力算出手段は、参照入力  $r(k)$  を、出力偏差（予測値  $PREVO2$ ）の正負に応じた異なる所定の値（非線形ゲイン  $G_d$ ）を出力偏差に乗算した値に設定することを特徴とする。

## 【0018】

この制御装置によれば、請求項 3 に係る発明と同様の作用効果を得ることができる。

## 【0019】

請求項 7 に係る制御装置 1 は、内燃機関 3 の排気通路（排気管 7）を流れる排気ガスの空燃比を表す検出信号を出力する空燃比センサ（酸素濃度センサ 15）と、空燃比センサの出力  $V_{out}$  と所定の目標値  $V_{op}$  との偏差である出力偏差（予測値  $PREVO2$ ）に基づいて、参照入力  $r(k)$ 、 $DSMVO2$  を算出する参照入力算出手段（ $ECU2$ 、ステップ 22、33～36）と、参照入力を制

限するための制限値  $r1(k)$  ,  $DSMVO2L$  を算出する制限値算出手段 (ECU2、リミッタ 24b, 29b、ステップ 37~41) と、算出された制限値を、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムおよび  $\Sigma\Delta$  変調アルゴリズムの一方の変調アルゴリズムに入力することより、一方の変調アルゴリズムからの出力である変調出力 ( $DSM$  出力  $u(k)$  ,  $DSMSGNS(k)$ 、 $SDM$  出力  $u'(k)$ ) を算出する変調出力算出手段 (ECU2、 $DSM$  コントローラ 24、 $SDM$  コントローラ 29、ステップ 42~46) と、算出された変調出力に応じて、空燃比センサの出力を目標値に収束させるように、内燃機関に供給される混合気空燃比を制御する空燃比制御手段 (ECU2、ステップ 1~13, 25, 26) と、を備え、制限値算出手段は、制限値を、参照入力の絶対値が変調出力の絶対値よりも大きいときには、参照入力と同じでかつ変調出力と絶対値が等しい値に設定する (ステップ 38, 40) とともに、参照入力の絶対値が変調出力の絶対値以下のときには、参照入力と同じ値に設定する (ステップ 41) ことを特徴とする。

#### 【0020】

この制御装置によれば、参照入力が、空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差に基づいて算出され、その制限値が、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムおよび  $\Sigma\Delta$  変調アルゴリズムの一方の変調アルゴリズムに入力されることにより、一方の変調アルゴリズムからの出力である変調出力が算出され、この変調出力に応じて、空燃比センサの出力を目標値に収束させるように、内燃機関に供給される混合気空燃比が制御される。この制限値は、参照入力の絶対値が変調出力の絶対値よりも大きいときには、参照入力と同じでかつ変調出力と絶対値が等しい値に設定されるとともに、変調出力の絶対値以下のときには、参照入力と同じ値に設定される。このように、参照入力の制限値すなわち  $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムへの入力が、その絶対値が変調出力の絶対値以下の値になるように算出されるので、従来と異なり、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムにおいて、これに入力された制限値と変調出力との偏差の積分値の絶対値が増大化するのを回避でき、それにより、制限値と変調出力との偏差の符号が反転した際、変調出力の符号を迅速に反転させることができ、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムにおける入出力間でのむだ時間の発生を防止することができる。その結果、内燃機関の混合気を制御する制御系、すなわちむだ時

間や応答遅れの大きい特性を有する制御系において、参照入力すなわち空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差を、制御対象からの出力としての空燃比センサの出力に迅速に反映させることができ、空燃比センサの出力の目標値への収束性を向上させることができる。その結果、空燃比制御の制御性を向上させることができる。

## 【 0 0 2 1 】

また、参照入力の制限値が $\Sigma \Delta$ 変調アルゴリズムに入力される場合でも、参照入力の制限値が、その絶対値が変調出力の絶対値以下の値になるように算出されるので、従来と異なり、 $\Sigma \Delta$ 変調アルゴリズムにおいて、制限値の積分値と変調出力の積分値との偏差の絶対値が増大することがなくなることで、制限値の積分値と変調出力の積分値との偏差の符号が反転した際、変調出力の符号を迅速に反転させることができ、 $\Sigma \Delta$ 変調アルゴリズムにおける入出力間での符号反転の際のむだ時間の発生を防止することができる。その結果、内燃機関の混合気を制御する制御系において、上記 $\Delta \Sigma$ 変調アルゴリズムの場合と同様の作用効果を得ることができる。

## 【 0 0 2 2 】

請求項 8 に係る発明は、請求項 7 に記載の制御装置 1 において、排気通路には、触媒装置（第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b）が設けられており、参照入力算出手段は、参照入力  $r(k)$ 、 $DSMVO2$  を、出力偏差（予測値  $PREVO2$ ）の正負に応じた異なる所定の値（非線形ゲイン  $G_d$ ,  $KRD SM$ ）を出力偏差に乗算した値に設定する（ステップ 3 6）ことを特徴とする。

## 【 0 0 2 3 】

この制御装置によれば、参照入力が、出力偏差の正負に応じた異なる所定の値を出力偏差に乗算した値に設定されるので、空燃比センサの出力の目標値への収束速度を、参照入力すなわち空燃比センサの出力と目標値との出力偏差の正負に応じて、異なる速度に設定することができる。すなわち、空燃比センサの出力が目標値から外れた際、排気ガスの空燃比をよりリッチ側またはリーン側に変化させるときの変化速度を変えることができる。したがって、例えば、触媒装置に供給される排気ガスがリッチ側にあるときには、触媒装置に供給される排気ガスを

、リーン側に緩やかに変化させることにより、触媒装置の上流側端部がリーン化されることに起因して $\text{NO}_x$ 浄化率が低下するのを防止できる。また、例えば、これとは逆に、触媒装置に供給される排気ガスがリーン側にあるときには、空燃比センサの出力を、リッチ側に迅速に変化させることにより、触媒装置全体が酸素過剰状態になるのを回避でき、触媒装置による $\text{NO}_x$ 浄化能力を迅速に回復させることができる。

## 【 0 0 2 4 】

請求項 9 に係る制御装置 1 は、内燃機関 3 の排気通路（排気管 7）を流れる排気ガスの空燃比を表す検出信号を出力する空燃比センサ（酸素濃度センサ 1 5）と、空燃比センサの出力  $V_{out}$  と所定の目標値  $V_{op}$  との偏差である出力偏差（予測値  $PREVO_2$ ）に基づいて、参照入力  $r(k)$  を算出する参照入力算出手段（ECU 2）と、算出された参照入力を  $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムに入力することにより、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムからの出力である変調出力（DSM 出力  $u(k)$ ）を算出する変調出力算出手段（ECU 2、DSM コントローラ 2 4）と、算出された変調出力に応じて、空燃比センサの出力を目標値に収束させるように、内燃機関に供給される混合気の空燃比を制御する空燃比制御手段（ECU 2）と、を備え、変調出力算出手段は、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムにおける、参照入力と変調出力との偏差である入力偏差の積分値（偏差積分値  $\sigma_d(k)$ ）を、所定範囲内の値（制限値  $\sigma_{d1}(k)$ ）に制限する制限手段（ECU 2、リミッタ 2 4 k）を有することを特徴とする。

## 【 0 0 2 5 】

この制御装置によれば、空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差に基づいて算出された参照入力が、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムに入力されることにより、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムからの出力である変調出力が算出され、この変調出力に応じて、空燃比センサの出力を目標値に収束させるように、内燃機関に供給される混合気の空燃比が制御される。この変調出力の算出の際、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムにおいて、参照入力と変調出力との偏差である入力偏差の積分値が、所定の制限範囲内の値に制限されるので、入力偏差の符号が反転した場合、変調出力の符号が反転するまでのむだ時間の長さを、この制限範囲によって決定することができる。し

たがって、この制限範囲を適切に設定することにより、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムの入出力間での符号反転の際のむだ時間を低減することができる。その結果、内燃機関の混合気を制御する制御系、すなわちむだ時間や応答遅れの大きい特性を有する制御系において、参照入力としての、空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差を、制御対象からの出力としての空燃比センサの出力に、従来よりも短時間で反映させることができ、空燃比センサの出力の目標値への収束性を向上させることができる。その結果、空燃比制御の制御性を向上させることができる。

## 【 0 0 2 6 】

請求項 1 0 に係る発明は、請求項 9 に記載の制御装置 1 において、排気通路には、触媒装置（第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b）が設けられており、参照入力算出手段は、参照入力  $r(k)$ 、 $DSMVO_2$  を、出力偏差（予測値  $PREVO_2$ ）の正負に応じた異なる所定の値（非線形ゲイン  $G_d$ ）を出力偏差に乗算した値に設定することを特徴とする。

## 【 0 0 2 7 】

この制御装置によれば、請求項 8 に係る発明と同様の作用効果を得ることができる。

## 【 0 0 2 8 】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の第 1 実施形態に係る制御装置について説明する。本実施形態の制御装置は、内燃機関の空燃比を制御するものとして構成した例であり、図 1 は、この制御装置 1 およびこれを適用した内燃機関 3 の概略構成を示している。同図に示すように、この制御装置 1 は、ECU 2 を備えており、この ECU 2 は、後述するように、内燃機関（以下「エンジン」という）3 の運転状態に応じて、これに供給される混合気の空燃比を制御する。

## 【 0 0 2 9 】

このエンジン 3 は、図示しない車両に搭載された直列 4 気筒型ガソリンエンジンであり、第 1 ～第 4 の 4 つの気筒 # 1 ～ # 4 を備えている。このエンジン 3 の吸気管 4 のスロットル弁 5 の近傍には、例えばポテンショメータなどで構成されたスロットル弁開度センサ 1 0 が設けられている。このスロットル弁開度センサ

10は、スロットル弁5の開度（以下「スロットル弁開度」という） $\theta_{TH}$ を検出して、その検出信号をECU2に送る。

【0030】

さらに、吸気管4のスロットル弁5よりも下流側には、吸気管内絶対圧センサ11が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ11は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管4内の吸気管内絶対圧PBAを検出し、その検出信号をECU2に出力する。

【0031】

また、吸気管4は、インテークマニホールド4aの4つの分岐部4bを介して4つの気筒#1～#4にそれぞれ接続されている。各分岐部4bには、各気筒の図示しない吸気ポートの上流側に、インジェクタ6が取り付けられている。各インジェクタ6は、エンジン3の運転時に、ECU2からの駆動信号によって、その開弁時間である最終燃料噴射量TOUTおよび噴射タイミングが制御される。

【0032】

一方、エンジン3の本体には、例えばサーミスタなどで構成された水温センサ12が取り付けられている。水温センサ12は、エンジン3のシリンダブロック内を循環する冷却水の温度であるエンジン水温TWを検出し、その検出信号をECU2に出力する。

【0033】

また、エンジン3のクランクシャフト（図示せず）には、クランク角センサ13が設けられている。このクランク角センサ13は、クランクシャフトの回転に伴い、いずれもパルス信号であるCRK信号およびTDC信号をECU2に出力する。

【0034】

CRK信号は、所定のクランク角（例えば $30^\circ$ ）ごとに1パルスが出力される。ECU2は、このCRK信号に応じ、エンジン3の回転数（以下「エンジン回転数」という）NEを算出する。また、TDC信号は、各気筒のピストン（図示せず）が吸気行程のTDC位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角ごとに1パルスが出力される。

## 【0035】

一方、排気管7（排気通路）のエキゾーストマニホールド7aよりも下流側には、上流側から順に第1触媒装置8aおよび第2触媒装置8bが間隔を存して設けられている。両触媒装置8a、8b（触媒装置）はいずれも、NO<sub>x</sub>触媒と3元触媒を組み合わせたものであり、NO<sub>x</sub>触媒による酸化還元作用により、リーンバーン運転時の排気ガス中のNO<sub>x</sub>を浄化するとともに、3元触媒の酸化還元作用により、リーンバーン運転以外の運転時の排気ガス中のCO、HCおよびNO<sub>x</sub>を浄化する。

## 【0036】

これらの第1および第2触媒装置8a、8bの間には、酸素濃度センサ（以下「O<sub>2</sub>センサ」という）15が取り付けられている。このO<sub>2</sub>センサ15（検出手段、空燃比センサ）は、ジルコニアおよび白金電極などで構成され、第1触媒装置8aの下流側の排気ガス中の酸素濃度に基づく出力V<sub>out</sub>をECU2に送る。このO<sub>2</sub>センサ15の出力V<sub>out</sub>（制御対象の出力）は、理論空燃比よりもリッチな混合気が燃焼したときには、ハイレベルの電圧値（例えば0.8V）となり、混合気がリーンのときには、ローレベルの電圧値（例えば0.2V）となるとともに、混合気が理論空燃比付近のときには、ハイレベルとローレベルの間の所定の目標値V<sub>op</sub>（例えば0.6V）となる（図2参照）。

## 【0037】

また、第1触媒装置8aよりも上流側のエキゾーストマニホールド7aの集合部付近には、LAFセンサ14（上流側空燃比センサ）が取り付けられている。このLAFセンサ14は、O<sub>2</sub>センサ15と同様のセンサとリニアライザなどの検出回路とを組み合わせることによって構成されており、リッチ領域からリーン領域までの広範囲な空燃比の領域において排気ガス中の酸素濃度をリニアに検出し、その酸素濃度に比例する出力KACTをECU2に送る。この出力KACTは、空燃比の逆数に比例する当量比として表される。

## 【0038】

次に、図2を参照しながら、第1触媒装置8aの排気ガスの浄化率とO<sub>2</sub>センサ15の出力V<sub>out</sub>（電圧値）との関係について説明する。同図は、第1触媒

装置 8 a が、長時間の使用により浄化能力が低下した劣化状態と、浄化能力の高い未劣化状態の場合において、L A F センサ 1 4 の出力 K A C T すなわちエンジン 3 に供給される混合気の空燃比が理論空燃比の付近で変化したときの、2 つの第 1 触媒装置 8 a の H C および N O x の浄化率と、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t をそれぞれ測定した結果の一例を示している。同図において、破線で示すデータはいずれも、第 1 触媒装置 8 a が未劣化状態の場合の測定結果であり、実線で示すデータはいずれも、第 1 触媒装置 8 a が劣化状態の場合の測定結果である。また、L A F センサ 1 4 の出力 K A C T が大きいほど、混合気の空燃比がよりリッチ側であることを示している。

## 【 0 0 3 9 】

同図に示すように、第 1 触媒装置 8 a が劣化している場合には、未劣化状態の場合と比べて、排気ガスの浄化能力が低下していることにより、L A F センサ 1 4 の出力 K A C T がよりリーン側の値 K A C T 1 のときに、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p を横切っている。一方、第 1 触媒装置 8 a は、その劣化・未劣化状態にかかわらず、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p にあるときに、H C および N O x を最も効率よく浄化する特性を有している。したがって、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p になるように、混合気の空燃比を制御することにより、第 1 触媒装置 8 a によって排気ガスを最も効率よく浄化できることが分かる。このため、後述する空燃比制御では、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p に収束するように、目標空燃比 K C M D が制御される。

## 【 0 0 4 0 】

さらに、E C U 2 には、アクセル開度センサ 1 6、大気圧センサ 1 7、吸気温センサ 1 8 および車速センサ 1 9 などが接続されている。このアクセル開度センサ 1 6 は、車両の図示しないアクセルペダルの踏み込み量（以下「アクセル開度」という）A P を検出し、その検出信号を E C U 2 に出力する。また、大気圧センサ 1 7、吸気温センサ 1 8 および車速センサ 1 9 はそれぞれ、大気圧 P A、吸気温 T A および車速 V P を検出し、その検出信号を E C U 2 に出力する。

## 【 0 0 4 1 】

このECU 2は、I/Oインターフェース、CPU、RAMおよびROMなどからなるマイクロコンピュータから構成されており、前述した各種のセンサ10～19の出力に応じて、エンジン3の運転状態を判別するとともに、ROMに予め記憶された制御プログラムやRAMに記憶されたデータなどに従って、後述する適応空燃比制御処理またはマップ検索処理を実行することにより、目標空燃比KCMD（制御入力）を算出する。さらに、後述するように、この目標空燃比KCMDに基づいて、インジェクタ6の最終燃料噴射量TOUTを気筒ごとに算出し、この算出した最終燃料噴射量TOUTに基づいた駆動信号で、インジェクタ6を駆動することにより、混合気の空燃比を制御する。なお、本実施形態では、ECU 2により、参照入力算出手段、制限値算出手段、変調出力算出手段、制御入力算出手段、制限手段および空燃比制御手段が構成されている。

#### 【0042】

図3に示すように、制御装置1は、目標空燃比KCMDを算出するADSMコントローラ20およびPRISMコントローラ21を備えており、両コントローラ20、21はいずれも、具体的には、ECU 2により構成されている。

#### 【0043】

以下、ADSMコントローラ20について説明する。このADSMコントローラ20は、適応予測型 $\Delta\Sigma$ 変調制御（Adaptive prediction Delta Sigma Modulation Control：以下「ADSM」という）処理の制御アルゴリズムにより、O2センサ15の出力Voutを目標値Vopに収束させるための目標空燃比KCMDを算出するものであり、状態予測器22、オンボード同定器23およびDSMコントローラ24により構成されている。

#### 【0044】

まず、状態予測器22について説明する。この状態予測器22は、以下に述べる予測アルゴリズムにより、出力偏差VO2の予測値PREVO2を算出するものである。本実施形態では、制御対象への制御入力を混合気の目標空燃比KCMDとし、制御対象の出力をO2センサ15の出力Voutとし、インジェクタ6を含むエンジン3の吸気系から、第1触媒装置8aを含む排気系の第1触媒装置8aの下流側のO2センサ15までの系を、制御対象と見なすとともに、この制

御対象を、下式（１）に示すように、離散時間系モデルであるＡＲＸモデル（auto-regressive model with exogeneous input:外部入力を持つ自己回帰モデル）としてモデル化する。

【 0 0 4 5 】

$$V O 2(k)=a 1 \cdot V O 2(k-1)+a 2 \cdot V O 2(k-2)+b 1 \cdot D K C M D(k-d t) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $V O 2$ は、 $O 2$ センサ 1 5 の出力  $V o u t$  と前述した目標値  $V o p$  との偏差 ( $V o u t - V o p$ ) である出力偏差を表し、 $D K C M D$ は、目標空燃比  $K C M D (= \phi o p)$  と基準値  $F L A F B A S E$  との偏差 ( $K C M D - F L A F B A S E$ ) である空燃比偏差を表し、記号  $k$  は、各離散データのサンプリングサイクルの順番を表している。この基準値  $F L A F B A S E$  は、所定の一定値に設定される。また、 $a 1$ 、 $a 2$ 、 $b 1$  はモデルパラメータを表しており、オンボード同定器 2 3 により、後述するように逐次同定される。

【 0 0 4 6 】

さらに、上記式（１）の  $d t$  は、目標空燃比  $K C M D$  の混合気がインジェクタ 6 により吸気系に供給されてから、 $O 2$ センサ 1 5 の出力  $V o u t$  に反映されるまでの予測時間を表しており、下式（２）のように定義される。

$$d t=d+d'+d d \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 $d$  は、 $L A F$ センサ 1 4 から  $O 2$ センサ 1 5 までの排気系のむだ時間を、 $d'$  は、インジェクタ 6 から  $L A F$ センサ 1 4 までの空燃比操作系のむだ時間を、 $d d$  は、排気系と空燃比操作系との間の位相遅れ時間をそれぞれ表している（なお、後述する適応空燃比制御処理の制御プログラムでは、 $A D S M$ 処理と  $P R I S M$ 処理とに切り換えて目標空燃比  $K C M D$  を算出する処理を行うため、位相遅れ時間  $d d = 0$  に設定されている）。

【 0 0 4 7 】

また、予測値  $P R E V O 2$  は、目標空燃比  $K C M D$  の混合気が吸気系に供給されてから予測時間  $d t$  が経過した後の出力偏差  $V O 2(k+d t)$  を予測した値であり、上記式（１）に基づき、予測値  $P R E V O 2$  の算出式を導出すると、下式（３）が得られる。

$$P R E V O 2(k) \doteq V O 2(k+d t)$$

$$=a_1 \cdot VO_2(k+dt-1)+a_2 \cdot VO_2(k+dt-2)+b_1 \cdot DKCMD(k) \quad \dots\dots (3)$$

【0048】

この式(3)では、出力偏差 $VO_2(k)$ の未来値に相当する $VO_2(k+dt-1)$ 、 $VO_2(k+dt-2)$ の算出が必要となり、実際にプログラム化するのは困難である。そのため、マトリクス $A$ 、 $B$ を、モデルパラメータ $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ を用いて図4に示す式(4)、(5)のように定義するとともに、上式(3)の漸化式を繰り返し用いることにより、上式(3)を変形すると、図4に示す式(6)が得られる。さらに、 $LAF$ 出力偏差 $DKACT$ を、 $LAF$ センサ14の出力 $KACT(=\phi_{in})$ と基準値 $FLAFBASE$ との偏差( $KACT-FLAFBASE$ )として定義すると、 $DKACT(k)=DKCMD(k-d')$ の関係が成立するので、この関係を図4の式(6)に適用すると、図4に示す式(7)が得られる。この式(7)を用いた場合、予測値 $PREVO_2$ が、出力偏差 $VO_2$ 、 $LAF$ 出力偏差 $DKACT$ および空燃比偏差 $DKCMD$ により算出されるので、第1触媒装置8aに実際に供給される排気ガスの空燃比の状態が反映された値として、予測値 $PREVO_2$ を算出でき、その算出精度すなわち予測精度を上記式(6)を用いた場合よりも向上させることができる。この理由により、本実施形態では、予測アルゴリズムとして上記式(7)を採用する。

【0049】

次に、オンボード同定器23について説明する。このオンボード同定器23は、以下に述べる逐次型同定アルゴリズムにより、前述した式(1)のモデルパラメータ $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ を算出(同定)するものである。具体的には、図5に示す(8)、(9)により、モデルパラメータのベクトル $\theta(k)$ を算出する。同図の式(8)において、 $KP(k)$ は、ゲイン係数のベクトルであり、 $ide\_f(k)$ は同定誤差フィルタ値である。また、式(9)における $\theta(k)^T$ は、 $\theta(k)$ の転置行列を表している。なお、以下の説明では、「ベクトル」という表記を適宜、省略する。

【0050】

上記式(8)の同定誤差フィルタ値 $ide\_f(k)$ は、図5に示す式(11)～(13)により算出される同定誤差 $ide(k)$ に、図5の式(10)に示

す移動平均フィルタリング処理を施した値である。図5の式(10)の $n$ は、移動平均フィルタリング処理のフィルタ次数(1以上の整数)を表しており、式(12)の $VO2HAT(k)$ は、出力偏差 $VO2$ の同定値を表している。このフィルタ次数 $n$ は、後述するように、排気ガスボリューム $AB\_SV$ に応じて設定される。

#### 【0051】

さらに、前述した図5の式(8)のゲイン係数のベクトル $KP(k)$ は、図5の式(14)により算出される。この式(14)の $P(k)$ は、図5の式(15)で定義される3次の正方行列である。本実施形態では、同定アルゴリズムとして、重み付き最小2乗法アルゴリズムを用いるため、式(15)の重みパラメータ $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ は、 $\lambda 1 = \lambda$ 、 $\lambda 2 = 1$ ( $\lambda$ は、 $0 < \lambda < 1$ に設定される所定値)に設定されている。

#### 【0052】

次に、DSMコントローラ24(変調出力算出手段)について説明する。このDSMコントローラ24は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムを応用した制御アルゴリズムにより、状態予測器22で算出された予測値 $PREVO2$ に基づき、制御入力 $\phi_{op}$ (=目標空燃比 $KCMD$ )を算出するとともに、これを制御対象に入力することにより、制御対象の出力としての $O2$ センサ15の出力 $Vout$ を目標値 $V_{op}$ に収束させるように制御するものである。

#### 【0053】

まず、一般的な $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムについて説明する。図6は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムを適用したコントローラ26により、制御対象27を制御する制御系の構成を示している。同図に示すように、このコントローラ26では、差分器26aにより、参照入力 $r(k)$ と遅延素子26bで遅延されたDSM出力 $u(k-1)$ との偏差として偏差信号 $\delta(k)$ が生成される。次に、積分器26cにより、偏差積分値 $\sigma_d(k)$ が、偏差信号 $\delta(k)$ と遅延素子26dで遅延された偏差積分値 $\sigma_d(k-1)$ との和の信号として生成される。次いで、量子化器26e(符号関数)により、変調出力としてのDSM出力 $u(k)$ が、この偏差積分値 $\sigma_d(k)$ を符号化した信号として生成される。そして、以上のように生成されたDSM出

力  $u(k)$  が制御対象 27 に入力されることにより、出力信号  $y(k)$  が制御対象 27 から出力される。

#### 【0054】

以上の  $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムは、以下の式 (16) ~ (18) で表される。

$$\delta(k) = r(k) - u(k-1) \quad \dots\dots (16)$$

$$\sigma_d(k) = \sigma_d(k-1) + \delta(k) \quad \dots\dots (17)$$

$$u(k) = \text{sgn}(\sigma_d(k)) \quad \dots\dots (18)$$

ただし、符号関数  $\text{sgn}(\sigma_d(k))$  の値は、 $\sigma_d(k) \geq 0$  のときには  $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = 1$  となり、 $\sigma_d(k) < 0$  のときには  $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = -1$  となる (なお、 $\sigma_d(k) = 0$  のときに、 $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = 0$  と設定してもよい)。

#### 【0055】

図 7 は、以上の制御系の制御シミュレーション結果を示している。同図に示すように、正弦波状の参照入力  $r(k)$  を制御系に入力した場合、DSM 出力  $u(k)$  が矩形波状の信号として生成され、これを制御対象 27 に入力することにより、参照入力  $r(k)$  と異なる振幅で同じ周波数の、ノイズを有するものの全体として同様の波形の出力信号  $y(k)$  が、制御対象 27 から出力される。このように、 $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムの特性は、参照入力  $r(k)$  から生成された DSM 出力  $u(k)$  を制御対象 27 に入力したときに、制御対象 27 の出力  $y(k)$  が、参照入力  $r(k)$  に対して、異なる振幅で同じ周波数の、全体として同様の波形の信号となるような値として、DSM 出力  $u(k)$  を生成できるという点にある。言い換えれば、DSM 出力  $u(k)$  を、参照入力  $r(k)$  が制御対象 27 の実際の出力  $y(k)$  に再現されるような値として、生成 (算出) できるという点にある。

#### 【0056】

DSM コントローラ 24 は、このような  $\Delta\Sigma$  変調アルゴリズムの特性を利用し、O2 センサ 15 の出力  $V_{out}$  を目標値  $V_{op}$  に収束させるための制御入力  $\phi_{op}(k)$ 、すなわち目標空燃比  $K_{CMD}(k)$  を算出するものである。その原理について説明すると、例えば図 8 に 1 点鎖線で示すように、出力偏差  $V_{O2}$  が値 0 に対して揺らいでいる場合 (すなわち、O2 センサ 15 の出力  $V_{out}$  が目標値  $V_{op}$  に対して揺らいでいる場合)、出力偏差  $V_{O2}$  を値 0 に収束させる (すな

わち出力  $V_{out}$  を目標値  $V_{op}$  に収束させる) には、図 8 に破線で示す、出力偏差  $V_{O2}$  を打ち消すような逆位相波形の出力偏差  $V_{O2}^*$  が生じるように、目標空燃比  $K_{CMD}(k)$  を生成すればよい。

## 【0057】

しかし、前述したように、本実施形態の制御対象では、目標空燃比  $K_{CMD}(k)$  が制御対象に入力されてから  $O_2$  センサ 15 の出力  $V_{out}$  に反映されるまでに、予測時間  $dt$  分の時間遅れが発生するため、現在の出力偏差  $V_{O2}$  に基づいて、目標空燃比  $K_{CMD}(k)$  を算出した場合の出力偏差  $V_{O2}^\#$  は、図 8 に実線で示すように、出力偏差  $V_{O2}^*$  に対して遅れを生じ、それにより、制御タイミングのずれが生じてしまう。したがって、これを補償するために、本実施形態の  $ADSM$  コントローラ 20 における  $DSM$  コントローラ 24 では、出力偏差  $V_{O2}$  の予測値  $PREV_{O2}$  を用いることにより、目標空燃比  $K_{CMD}(k)$  が、制御タイミングのずれを生じることなく、現在の出力偏差  $V_{O2}$  を打ち消すような出力偏差 (逆位相波形の出力偏差  $V_{O2}^*$  と同様の出力偏差) を生じさせる信号として生成される。

## 【0058】

具体的には、この  $DSM$  コントローラ 24 では、図 9 に示すように、予測値  $PREV_{O2}(k)$  が反転増幅器 24a に入力されると、この反転増幅器 24a により、参照入力  $r(k)$  が、予測値  $PREV_{O2}(k)$  に値  $-1$  および後述する非線形ゲイン  $G_d$  (所定の値) を乗算した信号として生成され、この参照入力  $r(k)$  がリミッタ 24b (図 10 参照、制限値算出手段) に入力されることにより、参照入力  $r(k)$  の制限値  $r_1(k)$  が生成される。さらに、差分器 24c により、この制限値  $r_1(k)$  と遅延素子 24d で遅延された  $DSM$  出力  $u(k-1)$  との偏差として偏差信号  $\delta(k)$  が生成される。

## 【0059】

次いで、積分器 24e により、偏差積分値  $\sigma_d(k)$  が、偏差信号  $\delta(k)$  と遅延素子 24f で遅延された偏差積分値  $\sigma_d(k-1)$  との和の信号として生成され、次に、量子化器 24g (符号関数) により、 $DSM$  出力  $u(k)$  が、この偏差積分値  $\sigma_d(k)$  を符号化した値として生成される。そして、増幅器 24h により、増

幅DSM出力 $u''(k)$ がDSM出力 $u(k)$ を所定のゲイン $F_d$ で増幅した値として生成され、次に、加算器24iにより、この増幅DSM出力 $u''(k)$ に後述する所定の基準値 $FLAFBASE$ と適応補正項 $FLAFADP$ との和を加算した値として、目標空燃比 $KCMD(k)$ が生成される。

## 【0060】

以上のDSMコントローラ24の制御アルゴリズムは、以下の式(19)～(25)で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) \quad \dots\dots (19)$$

$$r1(k) = sat(r(k)) \quad \dots\dots (20)$$

$$\delta(k) = r1(k) - u(k-1) \quad \dots\dots (21)$$

$$\sigma_d(k) = \sigma_d(k-1) + \delta(k) \quad \dots\dots (22)$$

$$u(k) = sgn(\sigma_d(k)) \quad \dots\dots (23)$$

$$u''(k) = F_d \cdot u(k) \quad \dots\dots (24)$$

$$KCMD(k) = FLAFBASE + FLAFADP + u''(k) \quad \dots\dots (25)$$

ここで、非線形ゲイン $G_d$ の値は、 $PREVO2(k) \geq 0$ のときには正の所定値 $G_{d1}$ （例えば値0.2）に、 $PREVO2(k) < 0$ のときには所定値 $G_{d1}$ よりも大きい所定値 $G_{d2}$ （例えば値2）にそれぞれ設定される。このような非線形ゲイン $G_d$ を用いる理由については後述する。また、 $sat(r(k))$ は、飽和関数であり、その値は、図10に示すように、 $r(k) < -1$ のときには $sat(r(k)) = -1$ となり、 $-1 \leq r(k) \leq 1$ のときには $sat(r(k)) = r(k)$ となり、 $r(k) > 1$ のときには $sat(r(k)) = 1$ となる。さらに、 $sgn(\sigma_d(k))$ は符号関数であり、その値は、 $\sigma_d(k) \geq 0$ のときには $sgn(\sigma_d(k)) = 1$ となり、 $\sigma_d(k) < 0$ のときには $sgn(\sigma_d(k)) = -1$ となる（なお、 $\sigma_d(k) = 0$ のときに、 $sgn(\sigma_d(k)) = 0$ と設定してもよい）。

## 【0061】

図11は、以上のDSMコントローラ24の制御シミュレーション結果を示しており、図12は、DSMコントローラ24のリミッタ24bを省略した比較例の制御シミュレーション結果を示している。また、両図に示すデータは、理解の容易化のために、 $(FLAFBASE + FLAFADP)$ の値を、値1.0（理

論空燃比に相当する当量比の値)に設定した場合のものである。

#### 【0062】

まず、図12を参照すると、この比較例では、リミッタ24bがないことによって、積分器24eにおける積分値 $\sigma_d(k)$ が増大し、それに伴い、予測値PREVO2(k)の符号反転から、目標空燃比KCMD(k)がリッチ側とリーン側との間で変化するまでの間に、むだ時間(時刻 $t_{10} \sim t_{11}$ の間、 $t_{12} \sim t_{13}$ の間)を生じていることが分かる。これは、積分値 $\sigma_d(k)$ の増大に伴い、予測値PREVO2(k)の符号反転から、DSM出力 $u(k)$ の符号反転までの間に、むだ時間を生じることによる。

#### 【0063】

これに対して、図11を参照すると、本実施形態のDSMコントローラ24では、リミッタ24bを用いることにより、積分器24eにおける偏差積分値 $\sigma_d(k)$ が増大することなく抑制されており、それに伴い、予測値PREVO2(k)の符号反転と同時に、目標空燃比KCMD(k)がリッチ側とリーン側との間で変化する。すなわち、予測値PREVO2(k)の符号反転から、DSM出力 $u(k)$ の符号反転までの間に、むだ時間を生じていないことが分かる。このように、本実施形態のDSMコントローラ24によれば、予測値PREVO2の符号反転に対して、むだ時間を生じることなく目標空燃比KCMDをリッチ側とリーン側との間で変化させることができる。

#### 【0064】

次に、前記PRISMコントローラ21について説明する。このPRISMコントローラ21は、以下に述べるオンボード同定型スライディングモード制御処理(以下「PRISM処理」という)の制御アルゴリズムにより、O2センサ15の出力 $V_{out}$ を目標値 $V_{op}$ に収束させるための目標空燃比KCMDを算出するものであり、状態予測器22、オンボード同定器23およびスライディングモードコントローラ(以下「SLDコントローラ」という)25により構成されている。

#### 【0065】

このPRISMコントローラ21のうちの状態予測器22およびオンボード同

定器 23 については、既に説明したので、ここでは SLD コントローラ 25 についてのみ説明する。この SLD コントローラ 25 は、スライディングモード制御アルゴリズムに基づいてスライディングモード制御を行うものであり、その制御アルゴリズムは、前述した式 (1) の離散時間系モデルおよび出力偏差  $VO2$  の予測値  $PREVO2$  を用いることにより、図 13 に示す式 (26) ~ (30) のように定義される。

## 【0066】

図 13 の式 (26) は、予測値  $PREVO2$  を用いた場合の切換関数  $\sigma PRE$  を表しており、同式における  $S1$ ,  $S2$  は、 $-1 < (S2/S1) < 1$  の関係が成立するように設定される所定の係数である。また、式 (27) は、予測値の今回値  $PREVO2(k)$  および前回値  $PREVO2(k-1)$  の組み合わせを切換直線上に収束させるための操作量  $Us1(k)$  を表しており、この操作量  $Us1(k)$  は、等価制御入力  $Ueq(k)$ 、到達則入力  $Urch(k)$  および適応則入力  $Uadp(k)$  の総和として設定されるとともに、これらの等価制御入力  $Ueq(k)$ 、到達則入力  $Urch(k)$  および適応則入力  $Uadp(k)$  はそれぞれ、式 (28) ~ (30) のように定義される。なお、式 (29) において、 $F$  はゲインを表し、式 (30) において、 $G$  はゲインを、 $\Delta T$  は制御周期をそれぞれ表す。この SLD コントローラ 25 では、以上のアルゴリズムで算出される操作量  $Us1(k)$  に、基準値  $FLAFBASE$  および適応補正項  $FLAFADP$  を加算することによって、目標空燃比  $KCMD$  が算出される。

## 【0067】

以下、ECU2 により実行される燃料噴射量の算出処理について、図 14 を参照しながら説明する。なお、以下の説明では、今回値であることを示す記号 ( $k$ ) を適宜、省略する。図 14 は、この制御処理のメインルーチンを示しており、本処理は、TDC 信号の入力に同期して割り込み実行される。この処理では、後述する適応空燃比制御処理、またはマップ検索処理により算出された目標空燃比  $KCMD$  を用いることによって、燃料噴射量  $TOUT$  が気筒ごとに算出される。

## 【0068】

まず、ステップ 1 (図では「S1」と略す。以下同じ) において、前述した各

種のセンサ 1 0 ～ 1 9 の出力を読み込むとともに、読み込んだデータを R A M 内に記憶する。

#### 【 0 0 6 9 】

次に、ステップ 2 に進み、基本燃料噴射量  $T i m$  を算出する。この処理では、エンジン回転数  $N E$  および吸気管内絶対圧  $P B A$  に応じて、図示しないマップを検索することにより、基本燃料噴射量  $T i m$  を算出する。

#### 【 0 0 7 0 】

次いで、ステップ 3 に進み、総補正係数  $K T O T A L$  を算出する。この総補正係数  $K T O T A L$  は、各種の運転パラメータ（例えば吸気温  $T A$  や、大気圧  $P A$ 、エンジン水温  $T W$ 、アクセル開度  $A P$  など）に応じて、各種のテーブルやマップを検索することで各種の補正係数を算出するとともに、これらの各種の補正係数を互いに乗算することにより、算出される。

#### 【 0 0 7 1 】

次に、ステップ 4 に進み、適応制御フラグ  $F\_P R I S M O N$  の設定処理を実行する。この処理の内容は図示しないが、具体的には、以下の (a) ～ (f) の条件がいずれも成立しているときには、適応空燃比制御処理で算出された目標空燃比  $K C M D$  を使用する条件が成立しているとして、それを表すために、適応制御フラグ  $F\_P R I S M O N$  が「1」にセットされる。一方、(a) ～ (f) の条件のうちの少なくとも 1 つが成立していないときには、適応制御フラグ  $F\_P R I S M O N$  が「0」にセットされる。

- (a)  $L A F$  センサ 1 4 および  $O 2$  センサ 1 5 がいずれも活性化していること。
- (b) エンジン 3 がリーンバーン運転中でないこと。
- (c) スロットル弁 5 が全開状態でないこと。
- (d) 点火時期の遅角制御中でないこと。
- (e) フューエルカット運転中でないこと。
- (f) エンジン回転数  $N E$  および吸気管内絶対圧  $P B A$  がいずれも、所定の範囲内の値であること。

#### 【 0 0 7 2 】

次に、ステップ 5 に進み、ステップ 4 で設定された適応制御フラグ  $F\_P R I$

SMONが「1」であるか否かを判別する。この判別結果がYESのときには、ステップ6に進み、目標空燃比KCMDを、後述する適応空燃比制御処理で算出された適応目標空燃比KCMDSLDに設定する。

#### 【0073】

一方、ステップ5の判別結果がNOのときには、ステップ7に進み、目標空燃比KCMDをマップ値KCMDMAPに設定する。このマップ値KCMDMAPは、エンジン回転数NEおよび吸気管内絶対圧PBAに応じて、図示しないマップを検索することにより、算出される。

#### 【0074】

以上のステップ6または7に続くステップ8では、オブザーバフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ を気筒ごとに算出する。このオブザーバフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ は、気筒ごとの実際の空燃比のばらつきを補正するためのものであり、具体的には、オブザーバによりLAFセンサ14の出力KACTから気筒ごとの実際の空燃比を推定し、これらの推定した空燃比に応じて、PID制御により算出される。なお、このオブザーバフィードバック補正係数 $\#nKLAF$ の記号 $\#n$ は、気筒の番号 $\#1 \sim \#4$ を表すものであり、これは、後述する要求燃料噴射量 $\#nTCYL$ および最終燃料噴射量 $\#nTOUT$ においても同様である。

#### 【0075】

次いで、ステップ9に進み、フィードバック補正係数KFBを算出する。このフィードバック補正係数KFBは、具体的には、以下のように算出される。すなわち、LAFセンサ14の出力KACTと目標空燃比KCMDとの偏差に応じて、PID制御によりフィードバック係数KLAFを算出する。また、図示しないSelf Tuning Regulator 型の適応制御器によりフィードバック補正係数KSTRを算出し、これを目標空燃比KCMDで除算することにより、フィードバック補正係数 $kstr$ を算出する。そして、エンジン3の運転状態に応じて、これらの2つのフィードバック係数KLAFおよびフィードバック補正係数 $kstr$ の一方を、フィードバック補正係数KFBとして設定する。

#### 【0076】

次いで、ステップ10に進み、補正目標空燃比 $K_{CMDM}$ を算出する。この補正目標空燃比 $K_{CMDM}$ は、空燃比 $A/F$ の変化による充填効率の変化を補償するためのものであり、前述したステップ6または7で算出された目標空燃比 $K_{CMD}$ に応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出される。

## 【0077】

次に、ステップ11に進み、以上のように算出した基本燃料噴射量 $T_{im}$ 、総補正係数 $K_{TOTAL}$ 、オブザーバフィードバック補正係数 $\#n_{KLAF}$ 、フィードバック補正係数 $K_{FB}$ 、および補正目標空燃比 $K_{CMDM}$ を用い、下式(31)により、気筒ごとの要求燃料噴射量 $\#n_{TCYL}$ を算出する。

$$\#n_{TCYL} = T_{im} \cdot K_{TOTAL} \cdot K_{CMDM} \cdot K_{FB} \cdot \#n_{KLAF} \dots\dots (31)$$

## 【0078】

次に、ステップ12に進み、要求燃料噴射量 $\#n_{TCYL}$ を付着補正することにより、最終燃料噴射量 $\#n_{TOUT}$ を算出する。この最終燃料噴射量 $\#n_{TOUT}$ は、具体的には、今回の燃焼サイクルでインジェクタ6から噴射された燃料が燃焼室の内壁面に付着する割合などを、運転状態に応じて算出し、そのように算出した割合に基づいて、要求燃料噴射量 $\#n_{TCYL}$ を補正することにより、算出される。

## 【0079】

次いで、ステップ13に進み、以上のように算出した最終燃料噴射量 $\#n_{TOUT}$ に基づく駆動信号を、対応する気筒のインジェクタ6に出力した後、本処理を終了する。

## 【0080】

次に、図15を参照しながら、 $ADSM$ 処理および $PRI SM$ 処理を含む適応空燃比制御処理について説明する。この処理は、所定の周期(例えば10 msec)で実行される。また、この処理では、エンジン3の運転状態に応じて、 $ADSM$ 処理または $PRI SM$ 処理により、適応目標空燃比 $K_{CMDSLD}$ が算出される。

## 【0081】

この処理では、まず、ステップ 2 0 において、各種パラメータを算出する。このステップ 2 0 では、図示しない算出式により、エンジン回転数  $NE$  および吸気管内絶対圧  $PBA$  に基づいて、排気ガスボリューム  $AB\_SV$  を算出する。さらに、この排気ガスボリューム  $AB\_SV$  に応じて、図示しないテーブルを検索することにより、前述した同定アルゴリズムにおける重みパラメータ  $\lambda 1$  およびフィルタ次数  $n$  などを算出する。

## 【 0 0 8 2 】

次に、ステップ 2 1 に進み、オンボード同定器 2 3 の演算を実行する。具体的には、上記ステップ 2 0 で算出した前述した重みパラメータ  $\lambda 1$  およびフィルタ次数  $n$  を用い、前述した式 ( 8 ) ~ ( 1 5 ) に基づくプログラム ( 図示せず ) により、モデルパラメータ  $a 1$  ,  $a 2$  ,  $b 1$  を算出する。

## 【 0 0 8 3 】

次いで、ステップ 2 2 に進み、状態予測器 2 2 の演算を実行する。具体的には、上記ステップ 2 1 で算出したモデルパラメータ  $a 1$  ,  $a 2$  ,  $b 1$  を用い、前述した式 ( 7 ) に基づくプログラム ( 図示せず ) により、出力偏差  $VO 2$  の予測値  $PREVO 2$  を算出する。

## 【 0 0 8 4 】

次に、ステップ 2 3 に進み、前述した式 ( 2 6 ) ~ ( 3 0 ) に基づくプログラム ( 図示せず ) により、操作量  $Us 1$  を算出する。

## 【 0 0 8 5 】

次いで、ステップ 2 4 に進み、スライディングモード操作量  $DKCMDSLD$  を算出する。このステップ 2 4 では、図示しないプログラムにより、エンジン 3 の運転状態に応じた補正値を、上記ステップ 2 3 で算出した操作量  $Us 1$  に加減算することによって、スライディングモード操作量  $DKCMDSLD$  を算出する。

## 【 0 0 8 6 】

次に、ステップ 2 5 に進み、 $\Delta \Sigma$  変調操作量  $DKCMDDSM$  を算出する。この  $\Delta \Sigma$  変調操作量  $DKCMDDSM$  を算出する処理については、後述する。

## 【 0 0 8 7 】

次いで、ステップ26に進み、適応目標空燃比KCMDSLDを算出する。具体的には、図示しないが以下のように適応目標空燃比KCMDSLDを算出する。まず、DSMモードフラグF\_DSMMODEが「1」であるか否かを判別する。このDSMモードフラグF\_DSMMODEは、エンジン3が、適応目標空燃比KCMDSLDをADSM処理で算出すべき運転モードにあるとき、すなわち低負荷運転モード、負荷変動の大きい過渡運転モードおよびアイドル運転モードにあるときなどには「1」にセットされ、それ以外のときには「0」にセットされる。

## 【0088】

この判別結果がYESのとき、すなわちF\_DSMMODE=1で、エンジン3がADSM処理で適応目標空燃比KCMDSLDを算出すべき運転モードにあるときには、上記ステップ25で算出した $\Delta\Sigma$ 変調操作量DKCMDDSMを用い、下式(32)により、適応目標空燃比KCMDSLDを算出する。なお、この式(32)は、前述した式(25)に相当する。

$$KCMDSLD = DKCMDDSM + FLAFBASE + FLAFADP \quad \dots\dots (32)$$

ここで、FLAFADPは、適応補正項であり、次のステップ27でその次回値が算出される。

## 【0089】

一方、上記判別結果がNOのとき、すなわちF\_DSMMODE=0で、エンジン3がPRISM処理で適応目標空燃比KCMDSLDを算出すべき運転モードにあるときには、前記ステップ24で算出したスライディングモード操作量DKCMDSLDを用い、下式(33)により、適応目標空燃比KCMDSLDを算出する。

$$KCMDSLD = DKCMDSLD + FLAFBASE + FLAFADP \quad \dots\dots (33)$$

## 【0090】

次に、ステップ27に進み、適応補正項FLAFADPの次回値を算出する。具体的には、図示しないプログラムにより、出力偏差VO2および適応則入力U

addpに応じた補正値を、適応補正項FLAFADPの今回値に加減算することによって、適応補正項FLAFADPの次回値を算出する。この後、本処理を終了する。

## 【0091】

次に、図16および図17を参照しながら、前述した図15のステップ25の $\Delta\Sigma$ 変調操作量DKCMDDSMを算出する処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ30において、前述したDSMモードフラグF\_DSMMODEが「1」であるか否かを判別する。

## 【0092】

ステップ30の判別結果がYESで、エンジン3が適応目標空燃比KCMDSLDをADSM処理で算出すべき運転モードにあるときには、ステップ31に進み、RAMに記憶されている、前回のループで算出されたDSM出力の今回値DSMSGNS(k) [=u(k)、変調出力]を、前回値DSMSGNS(k-1) [=u(k-1)]として設定する。

## 【0093】

次に、ステップ32に進み、RAMに記憶されている、前回のループで算出された偏差積分値の今回値DSMSIGMA(k) [= $\sigma_d(k)$ ]を、前回値DSMSIGMA(k-1) [= $\sigma_d(k-1)$ ]として設定する。

## 【0094】

次いで、ステップ33に進み、出力偏差の予測値PREVO2(k)が値0以上であるか否かを判別する。この判別結果がYESのときには、エンジン3が混合気の空燃比をリーン側に変更すべき運転状態にあるとして、ステップ34に進み、参照入力用の非線形ゲインKRDSM(= $G_d$ )を、リーン化用の値KRDSML(= $G_d1$ )に設定した後、後述するステップ36に進む。

## 【0095】

一方、ステップ33の判別結果がNOのときには、エンジン3が混合気の空燃比をリッチ側に変更すべき運転状態にあるとして、ステップ35に進み、参照入力用の非線形ゲインKRDSMを、リーン化用の値KRDSMLよりも大きいリッチ化用の値KRDSMR(= $G_d2$ )に設定した後、ステップ36に進む。こ

のように、混合気の空燃比をリッチ側またはリーン側に変更する際、非線形ゲイン  $KRD SM$  の値が異なる値に設定される理由については後述する。

#### 【 0 0 9 6 】

ステップ 3 4 または 3 5 に続くステップ 3 6 では、参照入力  $DSMVO 2 [= r(k)]$  を、値  $-1$ 、参照入力用の非線形ゲイン  $KRD SM$  および予測値の今回値  $PREVO 2(k)$  を互いに乗算した値  $[-1 \cdot KRD SM \cdot PREVO 2(k)]$  に設定する。この処理は、前述した式 (19) に相当する。

#### 【 0 0 9 7 】

次いで、ステップ 3 7 に進み、上記ステップ 3 6 で算出した参照入力  $SMVO 2$  が値  $-1$  よりも小さいか否かを判別する。この判別結果が  $YES$  で、 $DSMV O 2 < -1$  のときには、ステップ 3 8 に進み、参照入力の制限値  $DSMVO 2 L (= r 1(k))$  を値  $-1$  に設定し、次に、後述する図 1 7 のステップ 4 2 に進む。

#### 【 0 0 9 8 】

一方、ステップ 3 7 の判別結果が  $NO$  で、 $-1 \leq DSMVO 2$  のときには、ステップ 3 9 に進み、参照入力  $DSMVO 2$  が値  $1$  よりも大きいかな否かを判別する。この判別結果が  $YES$  で、 $1 < DSMVO 2$  のときには、ステップ 4 0 に進み、参照入力の制限値  $DSMVO 2 L$  を値  $1$  に設定し、次いで、後述する図 1 7 のステップ 4 2 に進む。一方、ステップ 3 9 の判別結果が  $NO$  で、 $-1 \leq DSMVO 2 \leq 1$  のときには、ステップ 4 1 に進み、参照入力の制限値  $DSMVO 2 L$  をステップ 3 6 で算出した参照入力  $DSMVO 2$  に設定し、次いで、図 1 7 のステップ 4 2 に進む。以上のステップ 3 7 ~ 4 0 の処理が、前述したリミッタ 2 4 b および式 (20) に相当する。

#### 【 0 0 9 9 】

ステップ 3 8、4 0 または 4 1 に続く図 1 7 のステップ 4 2 では、参照入力の制限値  $DSMVO 2 L$  から、ステップ 3 1 で算出した  $DSM$  出力の前回値  $DSMSGNS(k-1)$  を減算した値  $[DSMVO 2 L - DSMSGNS(k-1)]$  を、偏差信号値  $DSMDELTA$  として設定する。この処理は、前述した式 (21) に相当する。

## 【 0 1 0 0 】

次に、ステップ 4 3 に進み、偏差積分値の今回値  $DSMSIGMA(k)$  を、ステップ 3 2 で算出した前回値  $DSMSIGMA(k-1)$  と、ステップ 4 2 で算出した偏差信号値  $DSMDELTA$  との和  $[DSMSIGMA(k-1) + DSMDELTA]$  に設定する。この処理は、前述した式 (2 2) に相当する。

## 【 0 1 0 1 】

次に、ステップ 4 4 ~ 4 6 において、ステップ 4 3 で算出した偏差積分値の今回値  $DSMSIGMA(k)$  が値 0 以上のときには、DSM出力の今回値  $DSMSGNS(k)$  を値 1 に設定し、偏差積分値の今回値  $DSMSIGMA(k)$  が値 0 よりも小さいときには、DSM出力の今回値  $DSMSGNS(k)$  を値 -1 に設定する。以上のステップ 4 4 ~ 4 6 の処理は、前述した式 (2 3) に相当する。

## 【 0 1 0 2 】

次いで、ステップ 4 7 において、排気ガスボリューム  $AB\_SV$  に応じて、図 1 8 に示すテーブルを検索することにより、DSM出力用のゲイン  $KDSM (= F_d)$  を算出する。同図に示すように、このゲイン  $KDSM$  は、排気ガスボリューム  $AB\_SV$  が小さいほど、より大きな値に設定されている。これは、排気ガスボリューム  $AB\_SV$  が小さいほど、すなわちエンジン 3 の負荷が小さい状態であるほど、O2 センサ 1 5 の出力  $Vout$  の応答性が低下するので、それを補償するためである。このようにゲイン  $KDSM$  を設定することにより、 $\Delta\Sigma$  変調操作量  $DKCMDDSM$  を、例えばオーバーゲイン状態などを回避しながら、エンジン 3 の運転状態に応じて適切に算出することができ、それにより、触媒後排気ガス特性（触媒装置 8 a, 8 b により浄化された排気ガスの特性）を向上させることができる。

## 【 0 1 0 3 】

なお、このゲイン  $KDSM$  の算出に用いるテーブルは、ゲイン  $KDSM$  が排気ガスボリューム  $AB\_SV$  に応じて設定されている上記テーブルに限らず、エンジン 3 の運転負荷状態を表すパラメータ（例えば基本燃料噴射時間  $Tim$ ）に応じてゲイン  $KDSM$  が予め設定されているものであればよい。また、触媒装置 8

a, 8 b の劣化判別器が設けられている場合には、この劣化判別器で判別された触媒装置 8 a, 8 b の劣化度合が大きいほど、ゲイン D S M をより小さい値に補正するようにしてもよい。さらに、ゲイン K D S M を、オンボード同定器 2 3 によって同定されたモデルパラメータに応じて決定してもよい。例えば、モデルパラメータ b 1 の逆数 ( $1/b 1$ ) の値が大きいほど、言い換えればモデルパラメータ b 1 の値が小さいほど、ゲイン K D S M をより大きい値に設定してもよい。

## 【 0 1 0 4 】

次に、ステップ 4 8 に進み、 $\Delta \Sigma$  変調操作量 D K C M D D S M を、D S M 出力用のゲイン K D S M と、D S M 出力の今回値 D S M S G N S (k) とを互いに乗算した値 [K D S M · D S M S G N S (k)] に設定した後、本処理を終了する。この処理が、前述した式 (2 4) に相当する。

## 【 0 1 0 5 】

図 1 6 に戻り、ステップ 3 0 の判別結果が N O で、エンジン 3 が適応目標空燃比 K C M D S L D を A D S M 処理で算出すべき運転モードにないときには、ステップ 4 9 に進み、D S M 出力の今回値 D S M S G N S (k) および前回値 D S M S G N S (k - 1) をいずれも値 1 に設定する。

## 【 0 1 0 6 】

次いで、ステップ 5 0 に進み、偏差積分値の今回値 D S M S I G M A (k) および前回値 D S M S I G M A (k - 1) をいずれも値 0 に設定する。次いで、図 1 7 のステップ 5 1 に進み、 $\Delta \Sigma$  変調操作量 D K C M D D S M を値 0 に設定した後、本処理を終了する。

## 【 0 1 0 7 】

次に、図 1 9 および図 2 0 を参照しながら、前述した非線形ゲイン K R D S M ( $= G_d$ ) が、混合気の空燃比をリッチ側に変更する場合とリーン側に変更する場合とで、異なる値 K R D S M L ( $= G_{d1}$ ) , K R D S M R ( $= G_{d2} > G_{d1}$ ) に設定される理由について説明する。図 1 9 は、本実施形態の非線形ゲイン K R D S M を用いた制御装置 1 により空燃比を制御した場合の動作の一例を示しており、図 2 0 は、比較のために非線形ゲイン K R D S M に代えて線形ゲイン (一定値のゲイン) を用いた場合の動作の比較例を示している。両図に示すデータは

、理解の容易化のために、 $(FLAFBASE + FLAFADP)$  の値を、値 1. 0 (理論空燃比に相当する当量比の値) に設定した場合のものである。また、両図に示す  $NO_x$  のデータは、第 2 触媒装置 8 b の下流側における測定データである。

## 【 0 1 0 8 】

両図のデータを比較すると、非線形ゲイン  $KRD SM$  を用いた場合、 $O_2$  センサ 15 の出力  $Vout$  がリッチ側にある状態 ( $Vout > Vop$  の状態)、およびリーン側にある状態 ( $Vout < Vop$  の状態) のいずれにおいても、線形ゲインを用いた場合よりも、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b による  $NO_x$  の浄化率が向上することが分かる。これは、以下の理由による。

## 【 0 1 0 9 】

すなわち、線形ゲインを用いると、図 20 に示すように、 $O_2$  センサ 15 の出力  $Vout$  がリッチ側にあることで、混合気を空燃比をリッチ側からリーン側に変化させる場合と、これと逆の場合とで、目標空燃比  $KCMD$  の変化パターンは、値 1. 0 のラインに対して線対称の傾向を示す。その結果、混合気を空燃比をリッチ側からリーン側に変化させる場合には、目標空燃比  $KCMD$  がリッチ側の値に保持される時間よりも、リーン側の値に保持される時間が長くなるため、第 1 触媒装置 8 a 内の触媒の上流側端部が過度にリーン化されることで、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b による  $NO_x$  浄化率の低下を招く。一方、混合気を空燃比をリーン側からリッチ側に変化させる場合には、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b 全体がリーン雰囲気保持されるため、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b による  $NO_x$  浄化率の低下を招く。

## 【 0 1 1 0 】

これに対して、図 19 に示すように、本実施形態の制御装置 1 では、混合気空燃比をリッチ側からリーン側に変更する際には、非線形ゲイン  $KRD SM$  を、リッチ化用の値  $KRD SMR$  よりも小さいリーン化用の値  $KRD SML$  に設定することで、目標空燃比  $KCMD$  がリーン側の値に保持される時間 ( $t_{20} \sim t_{21}$  の間の時間) を短縮し、それにより、第 1 触媒装置 8 a 内の触媒の上流側端部がリーン化されるのを防止することで、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b によ

る $\text{NO}_x$ 浄化率を向上させている。一方、混合気の空燃比をリーン側からリッチ側に変更する際には、非線形ゲイン $KRD\text{SM}$ を、リーン化用の値 $KRD\text{SML}$ よりも大きいリッチ化用の値 $KRD\text{SMR}$ に設定することで、目標空燃比 $KCMD$ を、長時間( $t_{22} \sim t_{23}$ の間の時間)リッチ側の値に保持し、第1および第2触媒装置8a, 8bのリーン雰囲気を迅速に解消させ、リッチ雰囲気に移行させる。それにより、第1および第2触媒装置8a, 8bにおける $\text{NO}_x$ 浄化能力を迅速に回復させることによって、両者の $\text{NO}_x$ 浄化率を向上させている。以上により、混合気の空燃比をリッチ側およびリーン側に変更する際、良好な触媒後排気ガス特性を確保することができる。

## 【0111】

以上のように、本実施形態に係る制御装置1によれば、参照入力 $VO_2\text{DSM}$ の制限値が、その絶対値が $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムからの出力の絶対値を超えないように算出されるので、従来と異なり、偏差積分値 $DSMS\text{SIGMA}$ の絶対値が増大化するのを回避でき、それにより、予測値 $PREVO_2$ の符号が反転した際、 $DSM$ 出力 $DSMSGN$ の符号を迅速に反転させることができ、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムにおける入出力間でのむだ時間の発生を防止することができる。その結果、むだ時間や応答遅れの大きい特性を有する、内燃機関3の混合気を制御する制御系において、参照入力 $VO_2\text{DSM}$ すなわち出力偏差 $VO_2$ の予測値 $PREVO_2$ を、目標空燃比 $KCMD$ すなわち $O_2$ センサ15に供給される排気ガスに迅速に反映させることができ、 $O_2$ センサ15の出力 $V_{out}$ の目標値 $V_{op}$ への収束性を向上させることができる。その結果、空燃比制御の制御性を向上させることができる。

## 【0112】

また、参照入力 $VO_2\text{DSM}$ が、予測値 $PREVO_2$ の正負に応じた非線形ゲイン $KRD\text{SM}$ を予測値 $PREVO_2$ に乗算することにより、算出されるとともに、非線形ゲイン $KRD\text{SM}$ の値が前述したように設定されることにより、混合気の空燃比をリッチ側およびリーン側に変更する際、良好な触媒後排気ガス特性を確保することができる。

## 【0113】

次に、図 2 1 ～ 図 2 3 を参照しながら、本発明の第 2 実施形態に係る制御装置について説明する。以下の説明では、第 1 実施形態と異なる点についてのみ説明するとともに、第 1 実施形態と同じまたは同等の構成要素については、同一の参照番号を付し、その説明は省略する。図 2 1 に示すように、本実施形態の制御装置 1 は、第 1 実施形態の制御装置 1 と比べて、DSM コントローラ 2 4 のみが異なっている。

## 【 0 1 1 4 】

この DSM コントローラ 2 4 では、予測値  $PREVO2(k)$  が反転増幅器 2 4 a に入力されると、この反転増幅器 2 4 a により、参照入力  $r(k)$  が、予測値  $PREVO2(k)$  に値  $-1$  および非線形ゲイン  $G_d$  を乗算した信号として生成される。次いで、差分器 2 4 c により、この参照入力  $r(k)$  と遅延素子 2 4 d で遅延された DSM 出力  $u(k-1)$  との偏差として偏差信号  $\delta(k)$  が生成される。

## 【 0 1 1 5 】

次いで、積分器 2 4 j により、偏差積分値  $\sigma_d(k)$  が、偏差信号  $\delta(k)$  と遅延素子 2 4 f で遅延された偏差積分値の制限値  $\sigma_{d1}(k-1)$  との和の信号として生成される。次に、この偏差積分値  $\sigma_d(k)$  がリミッタ 2 4 k (図 2 2 参照、制限手段) に入力されることにより、偏差積分値の制限値  $\sigma_{d1}(k)$  が生成され、そして、量子化器 2 4 g (符号関数) により、DSM 出力  $u(k)$  が、この制限値  $\sigma_{d1}(k)$  を符号化した値として生成される。そして、DSM 出力  $u(k)$  に基づき、前述したように目標空燃比  $KCMD(k)$  が生成される。

## 【 0 1 1 6 】

以上の DSM コントローラ 2 4 の制御アルゴリズムは、以下の式 (3 4) ～ (4 0) で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) \quad \dots\dots (34)$$

$$\delta(k) = r(k) - u(k-1) \quad \dots\dots (35)$$

$$\sigma_d(k) = \sigma_{d1}(k-1) + \delta(k) \quad \dots\dots (36)$$

$$\sigma_{d1}(k) = \text{sat}(\sigma_d(k)) \quad \dots\dots (37)$$

$$u(k) = \text{sgn}(\sigma_{d1}(k)) \quad \dots\dots (38)$$

$$u''(k) = F_d \cdot u(k) \quad \dots\dots (39)$$

$$KCMD(k) = FLAFBASE + FLAFADP + u''(k) \quad \dots\dots (40)$$

ここで、非線形ゲイン $G_d$ の値は、 $PREVO2(k) \geq 0$ のときには正の所定値 $G_{d1}$ （例えば値0.2）に、 $PREVO2(k) < 0$ のときには所定値 $G_{d1}$ よりも大きい所定値 $G_{d2}$ （例えば値2）にそれぞれ設定される。また、 $sat(\sigma_d(k))$ は、飽和関数であり、その値は、図22に示すように、 $\sigma_d(k) < -2$ のときには $sat(\sigma_d(k)) = -2$ となり、 $-2 \leq \sigma_d(k) \leq 2$ のときには $sat(\sigma_d(k)) = \sigma_d(k)$ となり、 $\sigma_d(k) > 2$ のときには $sat(\sigma_d(k)) = 2$ となる。さらに、 $sgn(\sigma_{d1}(k))$ は符号関数であり、その値は、 $\sigma_{d1}(k) \geq 0$ のときには $sgn(\sigma_{d1}(k)) = 1$ となり、 $\sigma_{d1}(k) < 0$ のときには $sgn(\sigma_{d1}(k)) = -1$ となる（なお、 $\sigma_{d1}(k) = 0$ のときに、 $sgn(\sigma_{d1}(k)) = 0$ と設定してもよい）。

【0117】

なお、以上のDSMコントローラ24の演算処理の具体的なプログラムは、図示しないが、第1実施形態の図16、17に示すものとほぼ同様に構成される。

【0118】

図23は、以上のDSMコントローラ24の制御シミュレーション結果を示しており、同図に示すデータは、理解の容易化のために、 $(FLAFBASE + FLAFADP)$ の値を、値1.0（理論空燃比に相当する当量比の値）に設定した場合のものである。

【0119】

同図を参照すると、本実施形態のDSMコントローラ24では、リミッタ24kを用いることにより、積分器24jにおける偏差積分値 $\sigma_d(k)$ が、その絶対値が値2以下になるように抑制されており、それに伴い、予測値 $PREVO2(k)$ の符号が反転した際、予測値 $PREVO2(k)$ の符号反転から、目標空燃比 $KCMD(k)$ がリッチ側とリーン側との間で変化するまでの間のむだ時間（時刻 $t30 \sim t31$ の間、 $t32 \sim t33$ の間）が、リミッタを省略した図12の比較例におけるむだ時間（時刻 $t10 \sim t11$ の間、 $t12 \sim t13$ の間）よりも短縮され、改善されていることが分かる。

【0120】

以上のように、本実施形態の制御装置 1 によれば、積分器 2 4 j における偏差積分値  $\sigma_d(k)$  が、その絶対値が値 2 以下になるように抑制されることにより、従来と異なり、偏差積分値  $\sigma_d(k)$  の絶対値が増大化するのを回避でき、それにより、予測値  $PREVO_2$  の符号が反転した際、目標空燃比  $KCMD(k)$  が反転するまでのむだ時間を従来よりも短縮できる。その結果、内燃機関 3 の混合気を制御する制御系において、参照入力  $VO_2DSM$  すなわち出力偏差  $VO_2$  の予測値  $PREVO_2$  を、目標空燃比  $KCMD$  すなわち  $O_2$  センサ 1 5 に供給される排気ガスに従来よりも短時間で反映させることができ、 $O_2$  センサ 1 5 の出力  $V_{out}$  の目標値  $V_{op}$  への収束性を向上させることができる。その結果、空燃比制御の制御性を向上させることができる。

#### 【0121】

また、参照入力  $r(k)$  が、予測値  $PREVO_2(k)$  に値 -1 および非線形ゲイン  $G_d$  を乗算した値として算出されるので、第 1 実施形態と同様の作用効果を得ることができる。なお、リミッタ 2 4 k の上下限值は、本実施形態の値 2 および値 -2 に限らず、任意に変更可能であることは言うまでもない。

#### 【0122】

次に、図 2 4 を参照しながら、本発明の第 3 実施形態に係る制御装置について説明する。同図に示すように、本実施形態の制御装置 1 は、第 1 実施形態の制御装置 1 の  $DSM$  コントローラ 2 4 に代えて  $SDM$  コントローラ 2 9 を用いる点のみが異なっている。この  $SDM$  コントローラ 2 9 (変調出力算出手段) は、 $\Sigma\Delta$  変調アルゴリズムを適用した制御アルゴリズムにより、予測値  $PREVO_2(k)$  に基づいて、目標空燃比  $KCMD(k)$  を算出するものである。

#### 【0123】

この  $SDM$  コントローラ 2 9 では、予測値  $PREVO_2(k)$  が反転増幅器 2 9 a に入力されると、この反転増幅器 2 9 a により、参照入力  $r(k)$  が、予測値  $PREVO_2(k)$  に値 -1 および非線形ゲイン  $G_d$  を乗算した信号として生成され、この参照入力  $r(k)$  が前記リミッタ 2 4 b と同様のリミッタ 2 9 b (制限値算出手段) に入力されることにより、参照入力  $r(k)$  の制限値  $r_1(k)$  が生成される。さらに、積分器 2 9 c により、制限値の積分値  $\sigma_d r_1(k)$  が、遅延素子 2

9 d で遅延された制限値の積分値  $\sigma_d r_l(k-1)$  と制限値  $r_l(k)$  との和の信号として生成される。一方、積分器 2 9 e により、SDM 出力積分値  $\sigma_d u'(k)$  が、遅延素子 2 9 f で遅延された SDM 出力積分値  $\sigma_d u'(k-1)$  と、遅延素子 2 9 g で遅延された SDM 出力  $u'(k-1)$  との和の信号として生成される。そして、差分器 2 9 h により、制限値の積分値  $\sigma_d r_l(k)$  と SDM 出力積分値  $\sigma_d u'(k)$  との偏差信号  $\delta(k)$  が生成される。

## 【 0 1 2 4 】

次いで、量子化器 2 9 i (符号関数) により、変調出力としての SDM 出力  $u'(k)$  が、この偏差信号  $\delta(k)$  を符号化した値として生成される。そして、増幅器 2 9 j により、増幅 SDM 出力  $u'''(k)$  が SDM 出力  $u'(k)$  を所定のゲイン  $F_d$  で増幅した値として生成され、次に、加算器 2 9 k により、この増幅 SDM 出力  $u'''(k)$  に所定の基準値  $FLAFBASE$  および適応補正項  $FLAFADP$  を加算した値として、目標空燃比  $KCMD(k)$  が生成される。

## 【 0 1 2 5 】

以上の SDM コントローラ 2 9 の制御アルゴリズムは、以下の式 (4 1) ~ (4 8) で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) \quad \dots\dots (4\ 1)$$

$$r_l(k) = sat(r(k)) \quad \dots\dots (4\ 2)$$

$$\sigma_d r_l(k) = \sigma_d r_l(k-1) + r_l(k) \quad \dots\dots (4\ 3)$$

$$\sigma_d u'(k) = \sigma_d u'(k-1) + u'(k-1) \quad \dots\dots (4\ 4)$$

$$\delta(k) = \sigma_d r_l(k) - \sigma_d u'(k) \quad \dots\dots (4\ 5)$$

$$u'(k) = sgn(\delta(k)) \quad \dots\dots (4\ 6)$$

$$u'''(k) = F_d \cdot u'(k) \quad \dots\dots (4\ 7)$$

$$KCMD(k) = FLAFBASE + FLAFADP + u'''(k) \quad \dots\dots (4\ 8)$$

ここで、非線形ゲイン  $G_d$  の値は、 $PREVO2(k) \geq 0$  のときには正の所定値  $G_{d1}$  (例えば値 0.2) に、 $PREVO2(k) < 0$  のときには所定値  $G_{d1}$  よりも大きい所定値  $G_{d2}$  (例えば値 2) にそれぞれ設定される。また、 $sat(r(k))$  は、飽和関数であり、その値は、 $r(k) < -1$  のときには  $sat(r(k)) = -1$  となり、 $-1 \leq r(k) \leq 1$  のときには  $sat(r(k)) = r(k)$

となり、 $r(k) > 1$  のときには  $\text{sat}(r(k)) = 1$  となる。さらに、 $\text{sgn}(\delta(k))$  は符号関数であり、その値は、 $\delta(k) \geq 0$  のときには  $\text{sgn}(\delta(k)) = 1$  となり、 $\delta(k) < 0$  のときには  $\text{sgn}(\delta(k)) = -1$  となる（なお、 $\delta(k) = 0$  のときに、 $\text{sgn}(\delta(k)) = 0$  と設定してもよい）。

## 【 0 1 2 6 】

なお、以上の SDM コントローラ 2 9 の演算処理の具体的なプログラムは、図示しないが、一部を除いて、第 1 実施形態の図 1 6，1 7 に示すものと同様に構成される。

## 【 0 1 2 7 】

以上の本実施形態に係る制御装置 1 によれば、参照入力  $r(k)$  の制限値  $r_1(k)$  が、その絶対値が SDM 出力  $u'(k)$  の絶対値を超えないように算出されるので、従来と異なり、制限値の積分値  $\sigma_d r_1(k)$  と SDM 出力の積分値  $\sigma_d u'(k)$  と偏差  $\delta(k)$  の絶対値が増大するのを回避でき、それにより、予測値  $\text{PREVO2}(k)$  の符号が反転した際、SDM 出力  $u'(k)$  の符号を迅速に反転させることができ、 $\Sigma \Delta$  変調アルゴリズムにおける入出力間でのむだ時間の発生を防止することができる。その結果、前述した第 1 実施形態の制御装置 1 と同様の効果を得ることができる。

## 【 0 1 2 8 】

なお、以上の各実施形態は、本発明の制御装置を内燃機関 3 の空燃比を制御するものとして構成した例であるが、本発明はこれに限らず、他の産業機器に適用可能であることは言うまでもない。

## 【 0 1 2 9 】

また、各実施形態は、予測値  $\text{PREVO2}(k)$  の正負に応じた非線形ゲイン  $G_d$ ， $KRDSM$  を予測値  $\text{PREVO2}(k)$  に乗算することにより、参照入力  $r(k)$ ， $\text{VO2DSM}$  を算出した例であるが、参照入力  $r(k)$ ， $\text{VO2DSM}$  を算出する手法はこれに限らず、予測値  $\text{PREVO2}(k)$  に乗算する値を予測値  $\text{PREVO2}(k)$  の正負に応じた異なる値として設定することにより、参照入力  $r(k)$ ， $\text{VO2DSM}$  を算出する手法であればよい。例えば、ゲインスケジューラを用いることにより、参照入力  $r(k)$ ， $\text{VO2DSM}$  を算出しても

よい。

【 0 1 3 0 】

さらに、各実施形態では、A D S Mコントローラ 2 0 および D S Mコントローラ 2 4 をプログラムにより構成したが、A D S Mコントローラ 2 0 および D S Mコントローラ 2 4 を、電気回路により構成してもよい。

【 0 1 3 1 】

【発明の効果】

以上のように、本発明の制御装置によれば、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムの一方を用いることにより制御対象を制御する場合において、一方の変調アルゴリズムの入出力間での符号反転の際のむだ時間を低減することができ、それにより、制御対象の出力の目標値への収束性を向上させることができ、制御性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態に係る制御装置およびこれを適用した内燃機関の概略構成を示す図である。

【図 2】

劣化状態および未劣化状態の第 1 触媒装置を用いた場合において、L A Fセンサの出力 K A C T に対する、両第 1 触媒装置の H C および N O x の浄化率と、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t とをそれぞれ測定した結果の一例を示す図である。

【図 3】

第 1 実施形態の制御装置の A D S Mコントローラおよび P R I S Mコントローラの構成を示すブロック図である。

【図 4】

状態予測器の予測アルゴリズムの数式の一例を示す図である。

【図 5】

オンボード同定器の同定アルゴリズムの数式の一例を示す図である。

【図 6】

$\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムが適用されたコントローラおよびこれを備えた制御系の

構成を示すブロック図である。

【図 7】

図 6 の制御系の制御シミュレーション結果の一例を示すタイミングチャートである。

【図 8】

第 1 実施形態の A D S M コントローラによる適応予測型  $\Delta \Sigma$  変調制御の原理を説明するためのタイミングチャートである。

【図 9】

A D S M コントローラのうちの D S M コントローラの構成を示すブロック図である。

【図 1 0】

D S M コントローラのリミッタ（飽和関数）を説明するための説明図である。

【図 1 1】

図 9 の D S M コントローラの制御シミュレーション結果の一例を示すタイミングチャートである。

【図 1 2】

図 9 の D S M コントローラにおいてリミッタを省略した場合の制御シミュレーション結果の一例を示すタイミングチャートである。

【図 1 3】

スライディングモードコントローラの制御アルゴリズムの数式を示す図である。

【図 1 4】

内燃機関の燃料噴射制御処理を示すフローチャートである。

【図 1 5】

適応空燃比制御処理を示すフローチャートである。

【図 1 6】

図 1 5 のステップ 2 5 の  $\Delta \Sigma$  変調操作量 D K C M D D S M を算出する処理を示すフローチャートである。

【図 1 7】

図 1 6 の続きを示すフローチャートである。

【図 1 8】

ゲイン K D S M の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図 1 9】

第 1 実施形態の制御装置による空燃比制御による動作例を示すタイミングチャートである。

【図 2 0】

非線形ゲインに代えて線形ゲインを用いた場合の空燃比制御による動作の比較例を示すタイミングチャートである。

【図 2 1】

第 2 実施形態に係る制御装置の D S M コントローラの構成を示すブロック図である。

【図 2 2】

図 2 1 の D S M コントローラのリミッタ（飽和関数）を説明するための説明図である。

【図 2 3】

第 2 実施形態の制御装置による空燃比制御の動作例を示すタイミングチャートである。

【図 2 4】

第 3 実施形態に係る制御装置の S D M コントローラの構成を示すブロック図である。

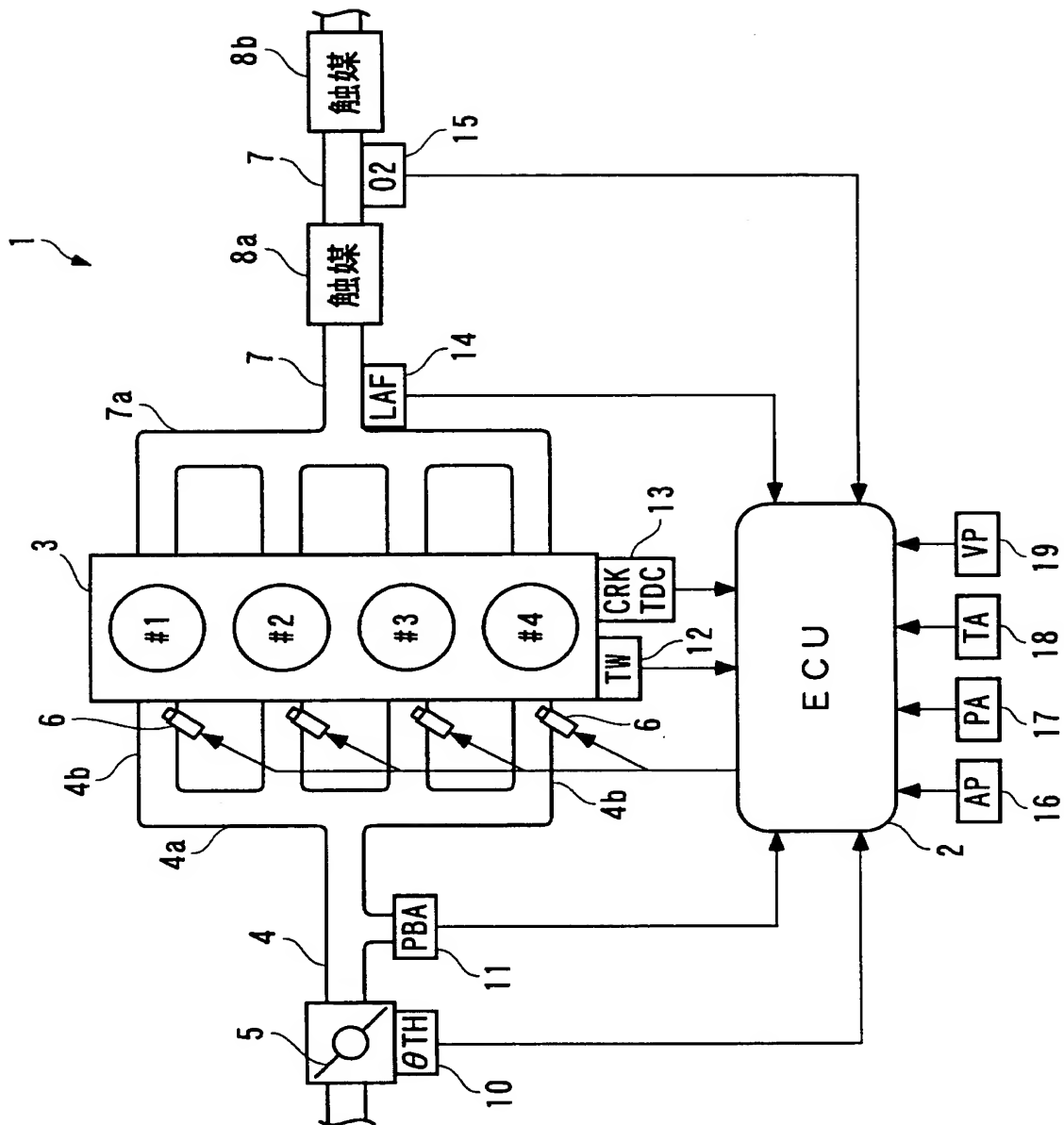
【符号の説明】

- 1 制御装置
- 2 E C U 2（参照入力算出手段、制限値算出手段、変調出力算出手段、  
制御入力算出手段、制限手段、空燃比制御手段）
- 3 内燃機関
- 7 排気管（排気通路）
- 8 a 第 1 触媒装置（触媒装置）
- 8 b 第 2 触媒装置（触媒装置）

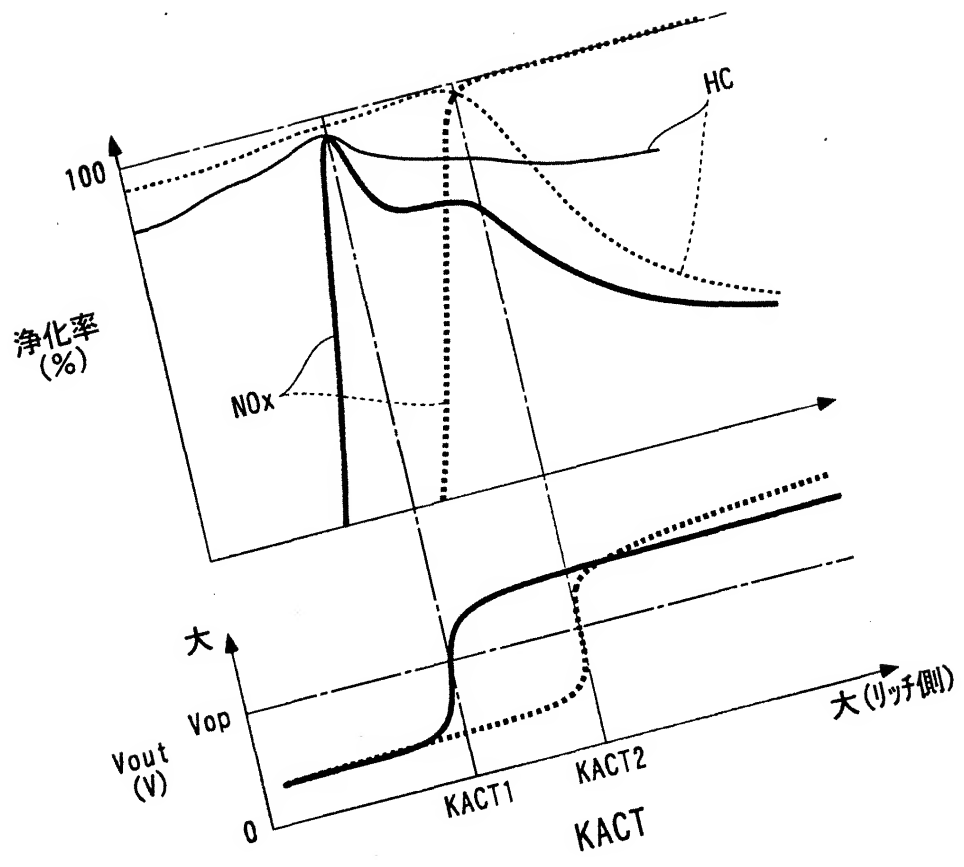
- 1 5 酸素濃度センサ（検出手段、空燃比センサ）
- 2 4 D S M コントローラ（変調出力算出手段）
- 2 4 b リミッタ（制限値算出手段）
- 2 4 k リミッタ（制限手段）
- 2 9 S D M コントローラ（変調出力算出手段）
- 2 9 b リミッタ（制限値算出手段）
  - $r(k)$  参照入力
  - D S M V O 2 参照入力
  - $r_l(k)$  制限値
  - D S M V O 2 L 制限値
  - $u(k)$  D S M 出力（変調出力）
  - D S M S G N S (k) D S M 出力（変調出力）
  - $u'(k)$  S D M 出力（変調出力）
  - K C M D 目標空燃比（制御入力）
  - V o u t 酸素濃度センサの出力（制御対象の出力）
  - V o p 目標値
  - P R E V O 2 出力偏差の予測値（出力偏差）
  - $G_d$  非線形ゲイン（所定の値）
  - K R D S M 非線形ゲイン（所定の値）
  - $\sigma_d(k)$  偏差積分値（入力偏差の積分値）
  - $\sigma_{d1}(k)$  偏差積分値の制限値（制限範囲内の値に制限された値）

【書類名】 図面

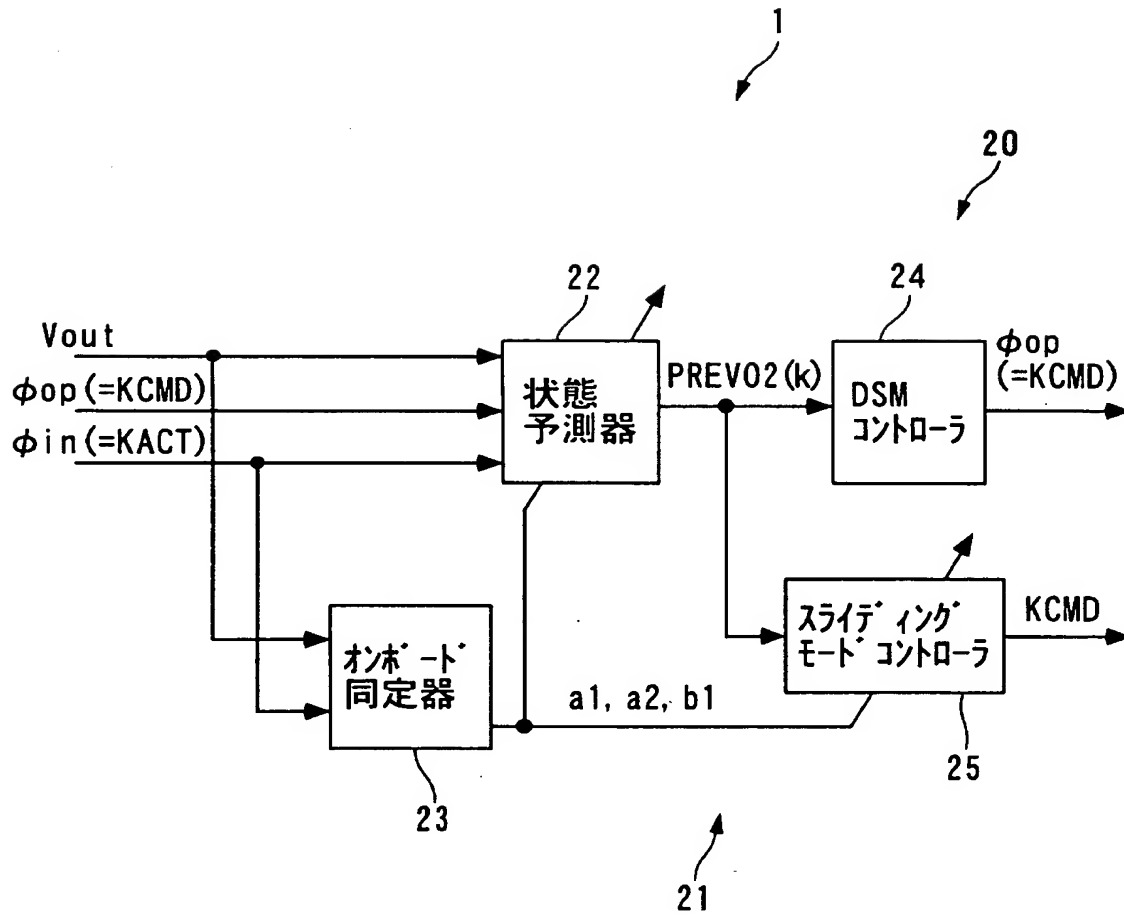
【図 1】



【図2】



【図 3】



【図 4】

$$A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} b1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (5)$$

$$PREV02(k) = \alpha 1 \cdot V02(k) + \alpha 2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{dt} \beta i \cdot DKCMD(k-i) \quad \dots\dots (6)$$

ここで、 $\alpha 1$  :  $A^{dt}$  の 1 行 1 列要素  
 $\alpha 2$  :  $A^{dt}$  の 1 行 2 列要素  
 $\beta i$  :  $A^{i-1}B$  の 1 行要素

$$PREV02(k) = \alpha 1 \cdot V02(k) + \alpha 2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{d'-1} \beta i \cdot DKCMD(k-i) + \sum_{j=d}^{dt} \beta j \cdot DKACT(k-j) \quad \dots\dots (7)$$

ここで、 $\beta j$  :  $A^{j-1}B$  の 1 行要素

【図 5】

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) \cdot ide\_f(k) \quad \dots\dots (8)$$

$$\theta(k)^T = [a1(k), a2(k), b1(k)] \quad \dots\dots (9)$$

$$ide\_f(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ide(i) \quad \dots\dots (10)$$

$$ide(k) = V02(k) - V02HAT(k) \quad \dots\dots (11)$$

$$V02HAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad \dots\dots (12)$$

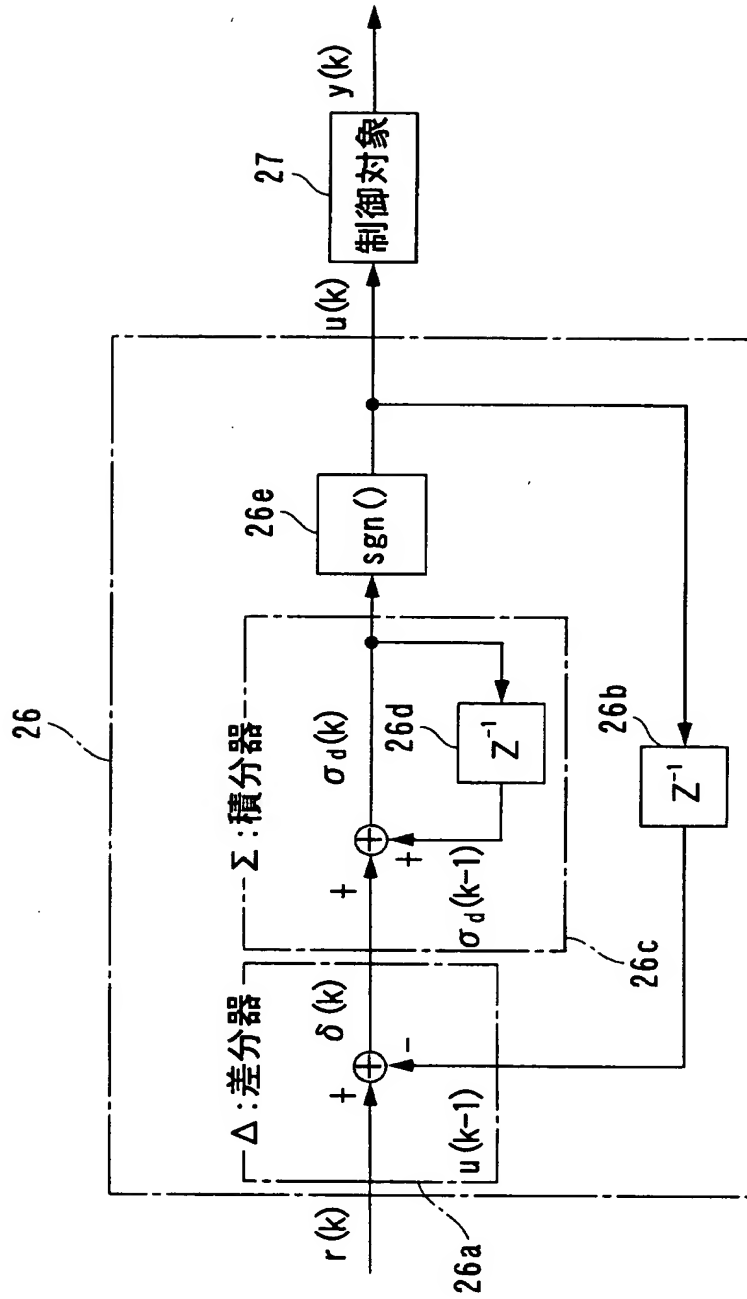
$$\zeta(k)^T = [V02(k-1), V02(k-2), DKACT(k-d-dd)] \quad \dots\dots (13)$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad \dots\dots (14)$$

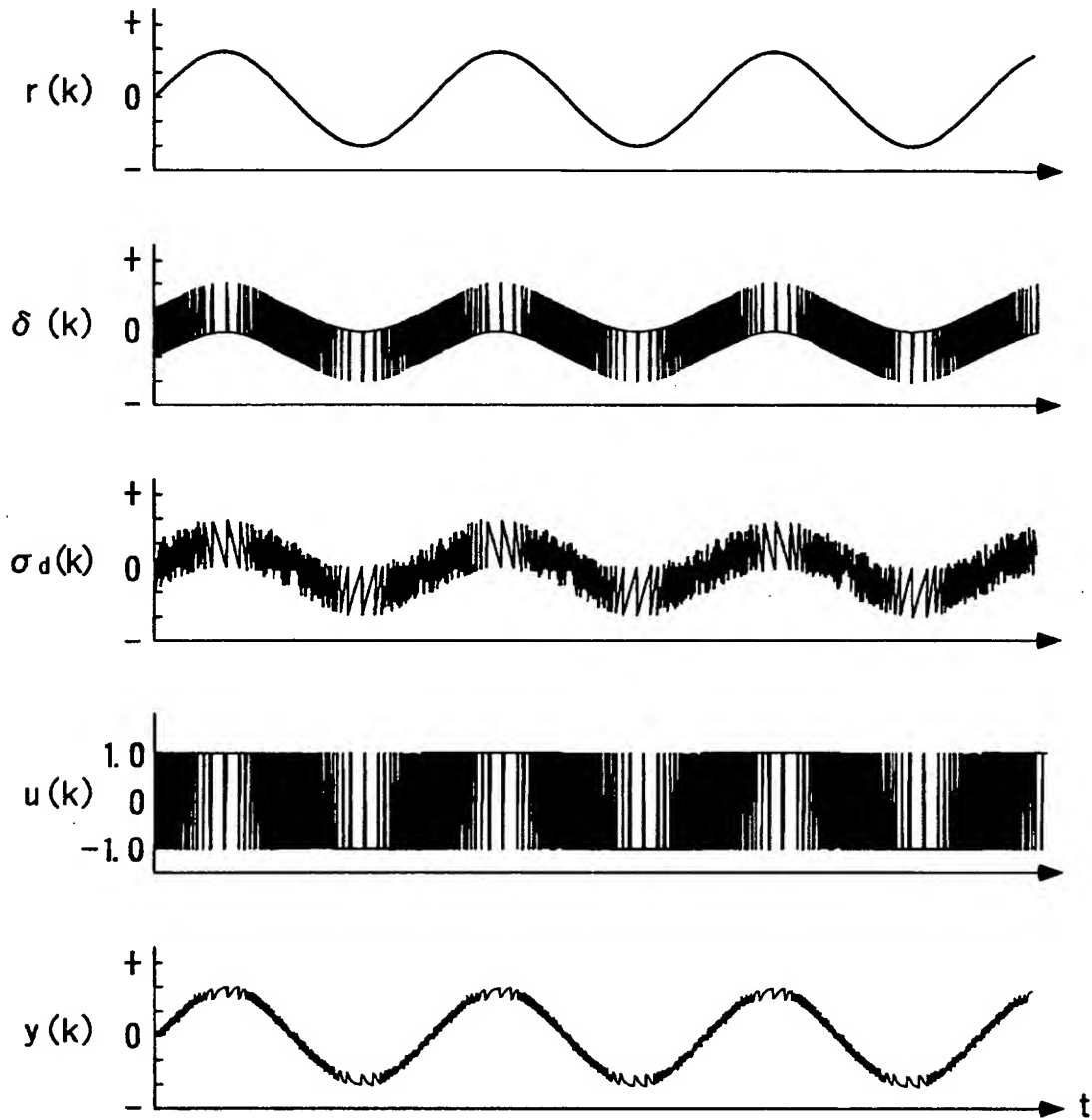
$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left( I - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad \dots\dots (15)$$

ここで、I は単位行列

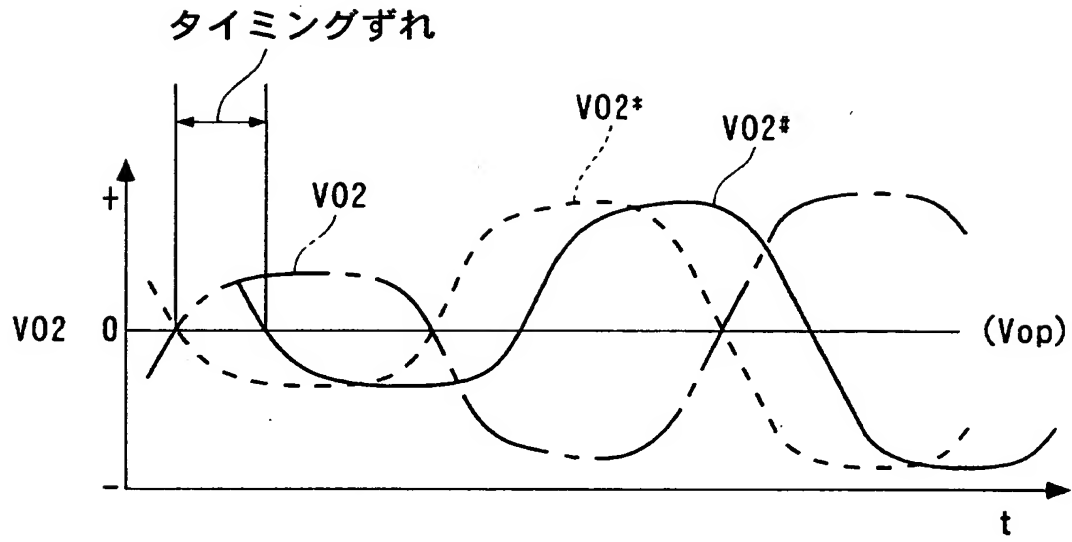
【図 6】



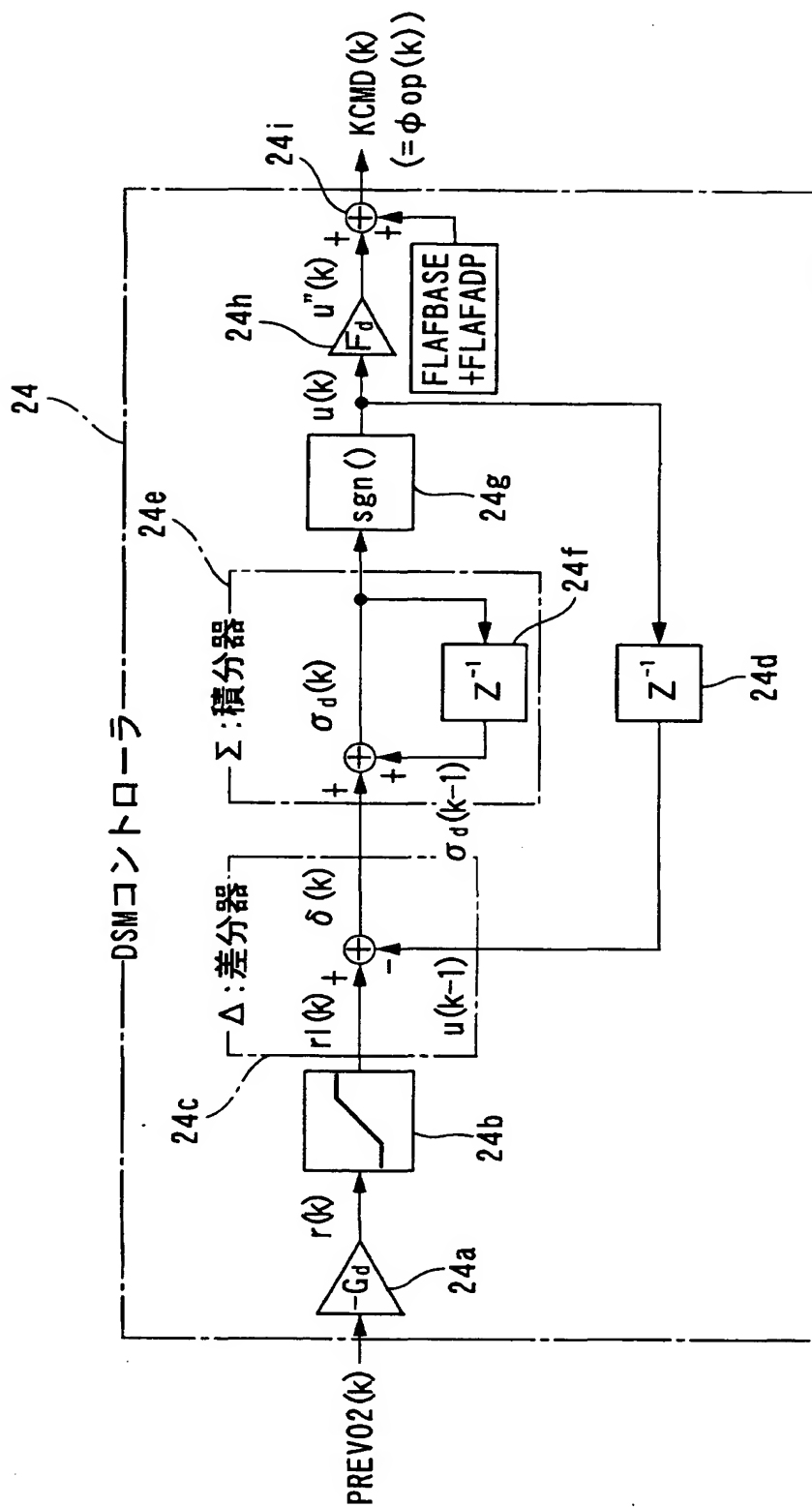
【図 7】



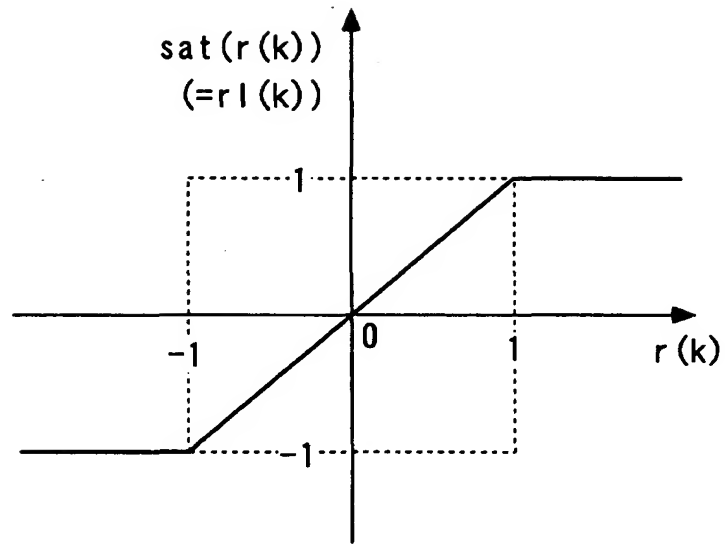
【図 8】



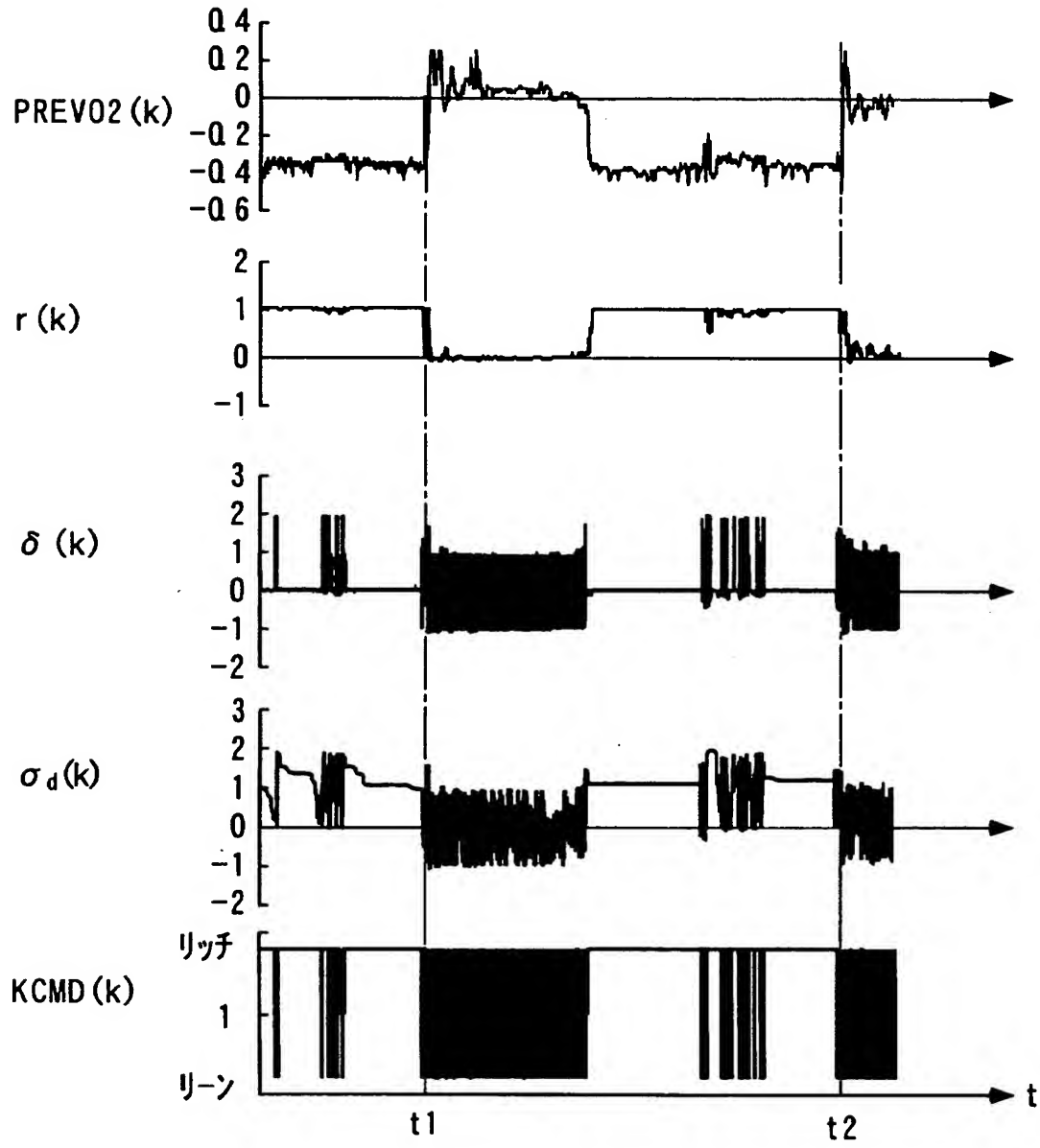
【図 9】



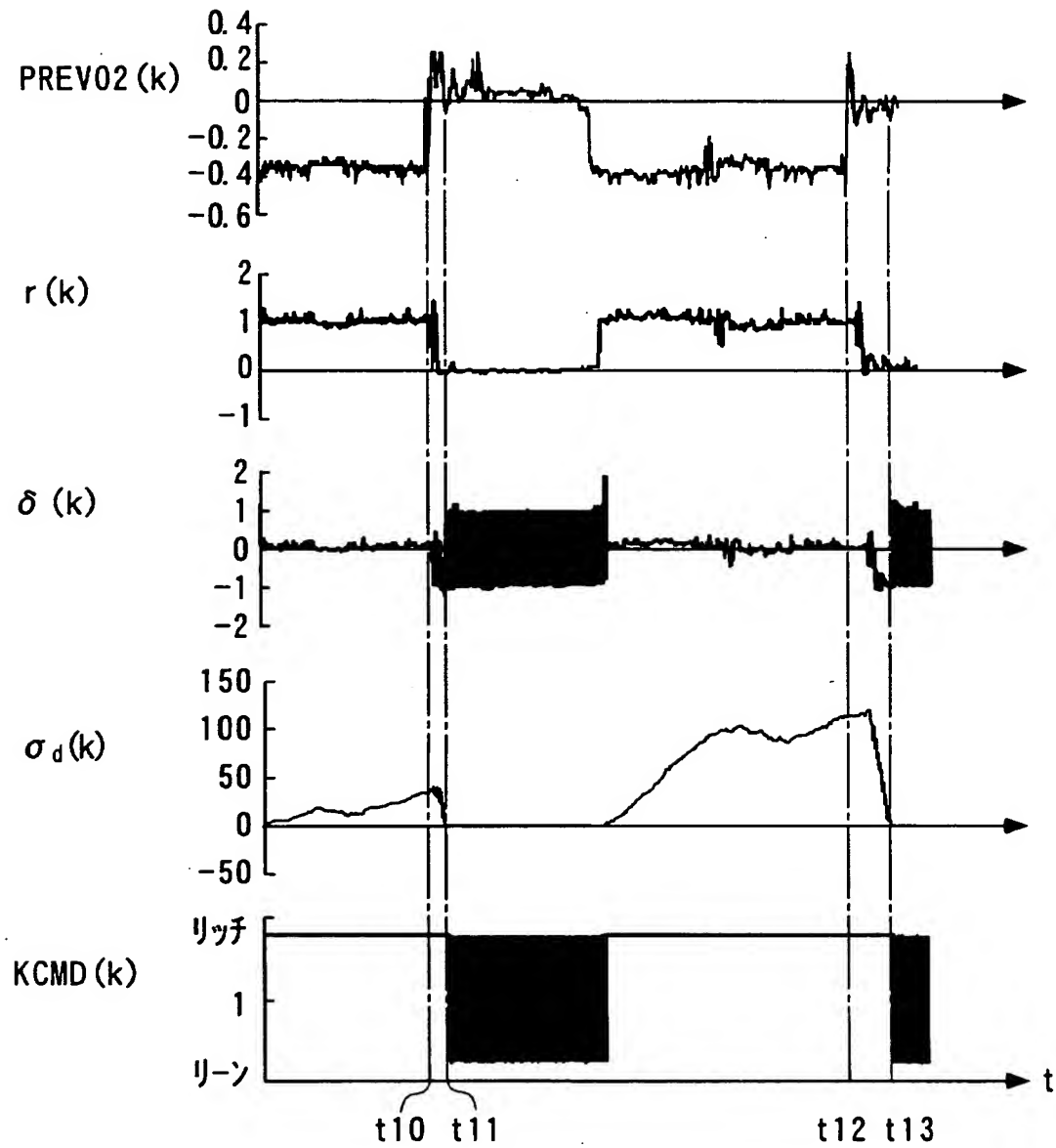
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 12】



【図 1 3】

$$\sigma \text{ PRE}(k) = S_1 \cdot \text{PREV02}(k) + S_2 \cdot \text{PREV02}(k-1) \quad \dots\dots (26)$$

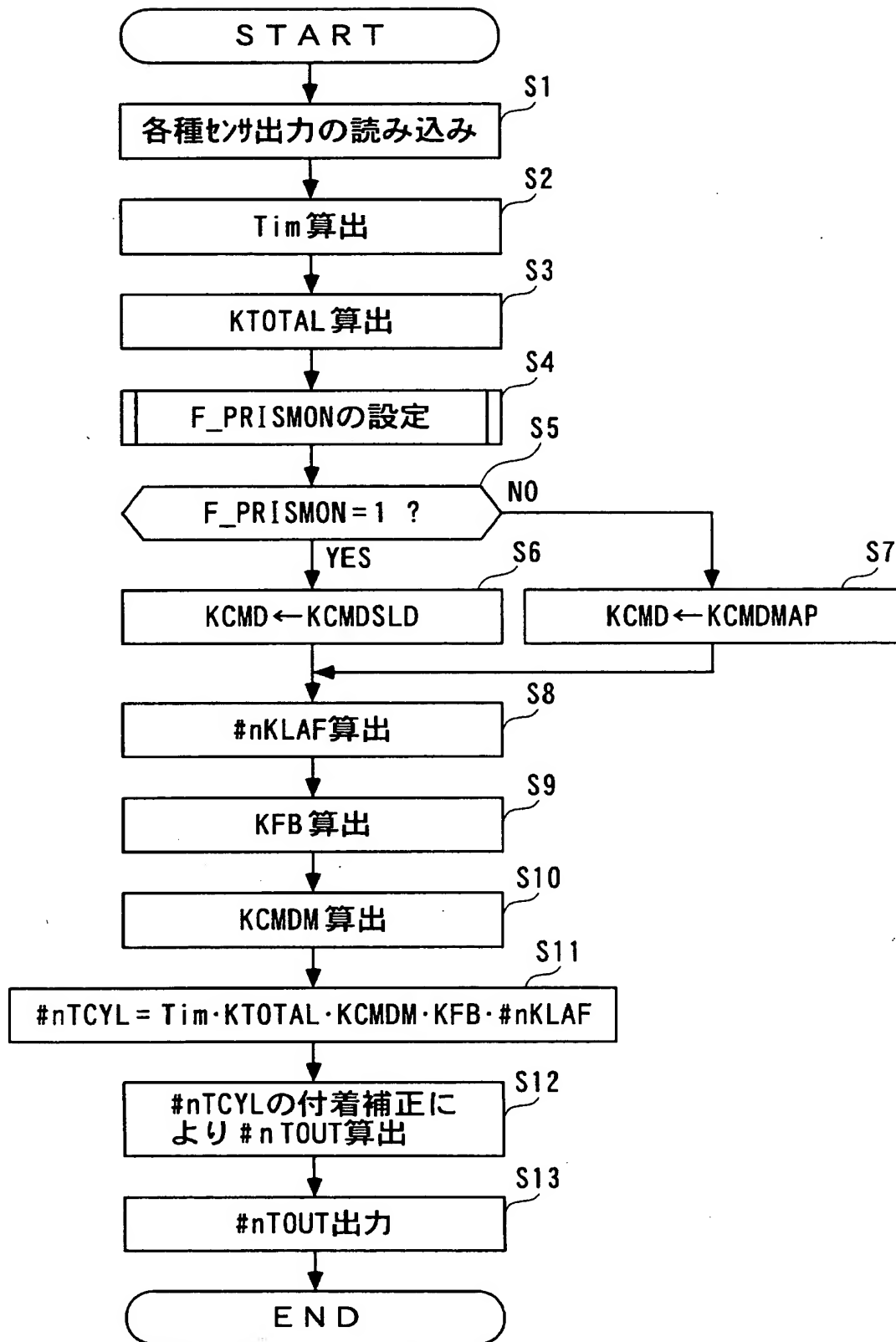
$$U_{sl}(k) = U_{eq}(k) + U_{rch}(k) + U_{adp}(k) \quad \dots\dots (27)$$

$$U_{eq}(k) = \frac{-1}{S_1 \cdot b_1} \{ [S_1 \cdot (a_1 - 1) + S_2] \cdot \text{PREV02}(k) \\ + (S_1 \cdot a_2 - S_2) \cdot \text{PREV02}(k-1) \} \quad \dots\dots (28)$$

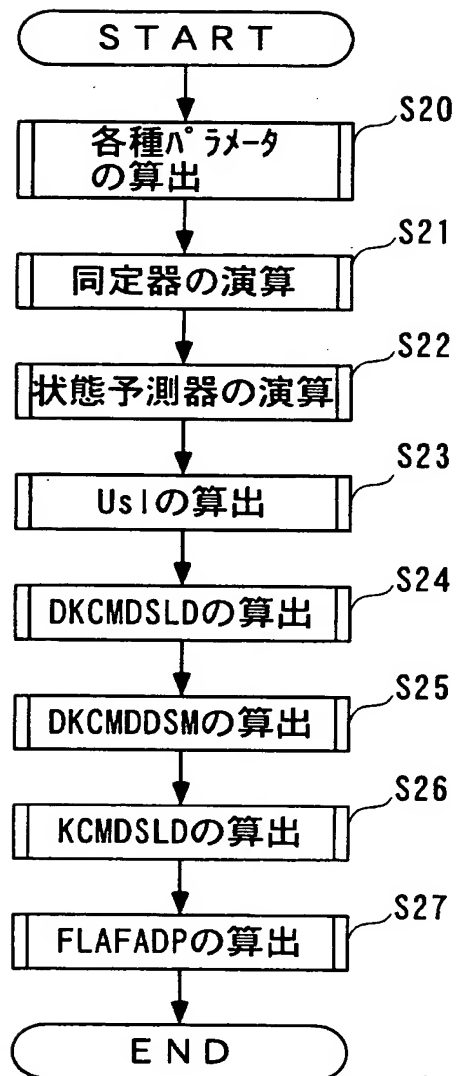
$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{S_1 \cdot b_1} \cdot \sigma \text{ PRE}(k) \quad \dots\dots (29)$$

$$U_{adp}(k) = \frac{-G}{S_1 \cdot b_1} \sum_{i=0}^k \Delta T \cdot \sigma \text{ PRE}(i) \quad \dots\dots (30)$$

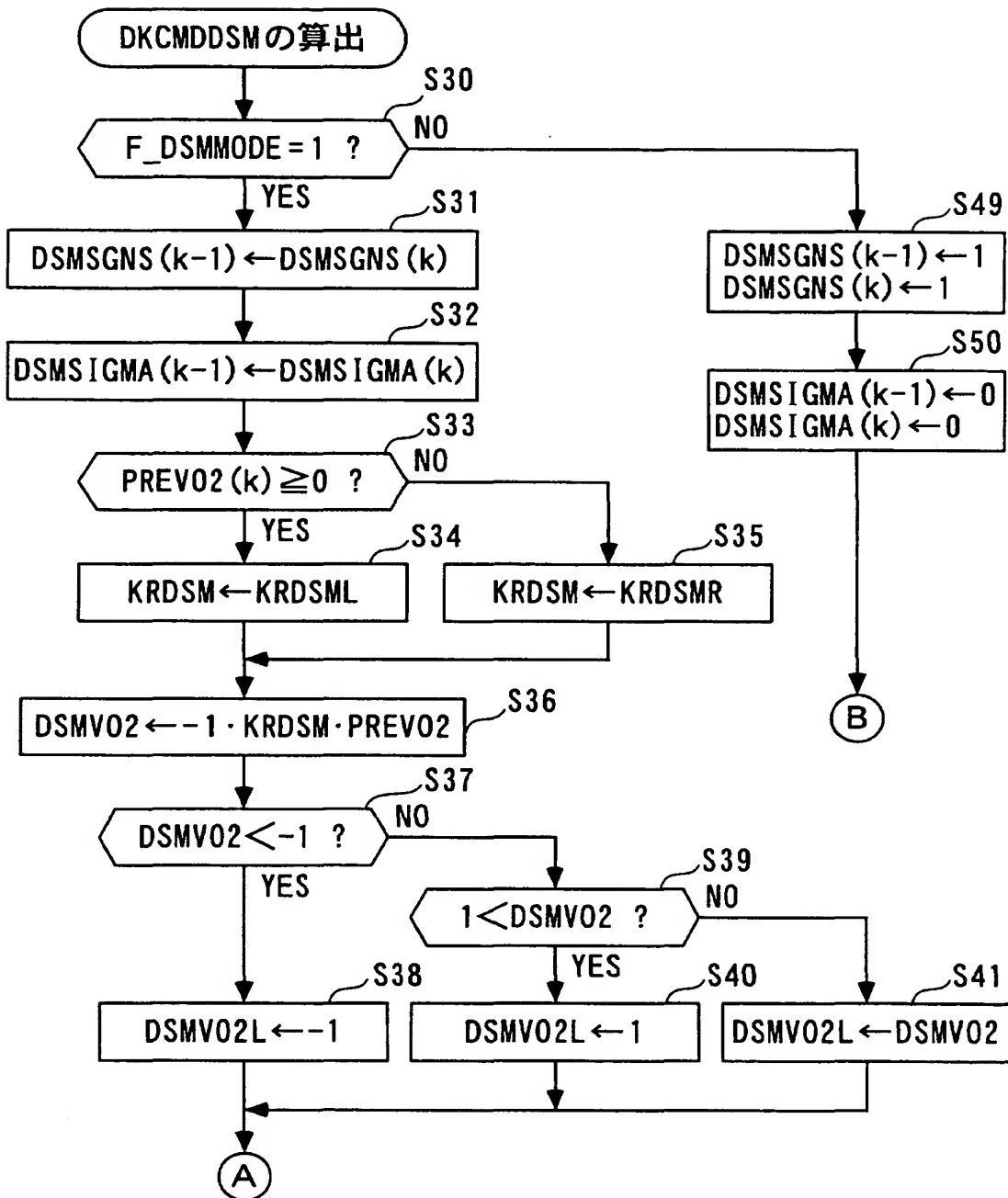
【図14】



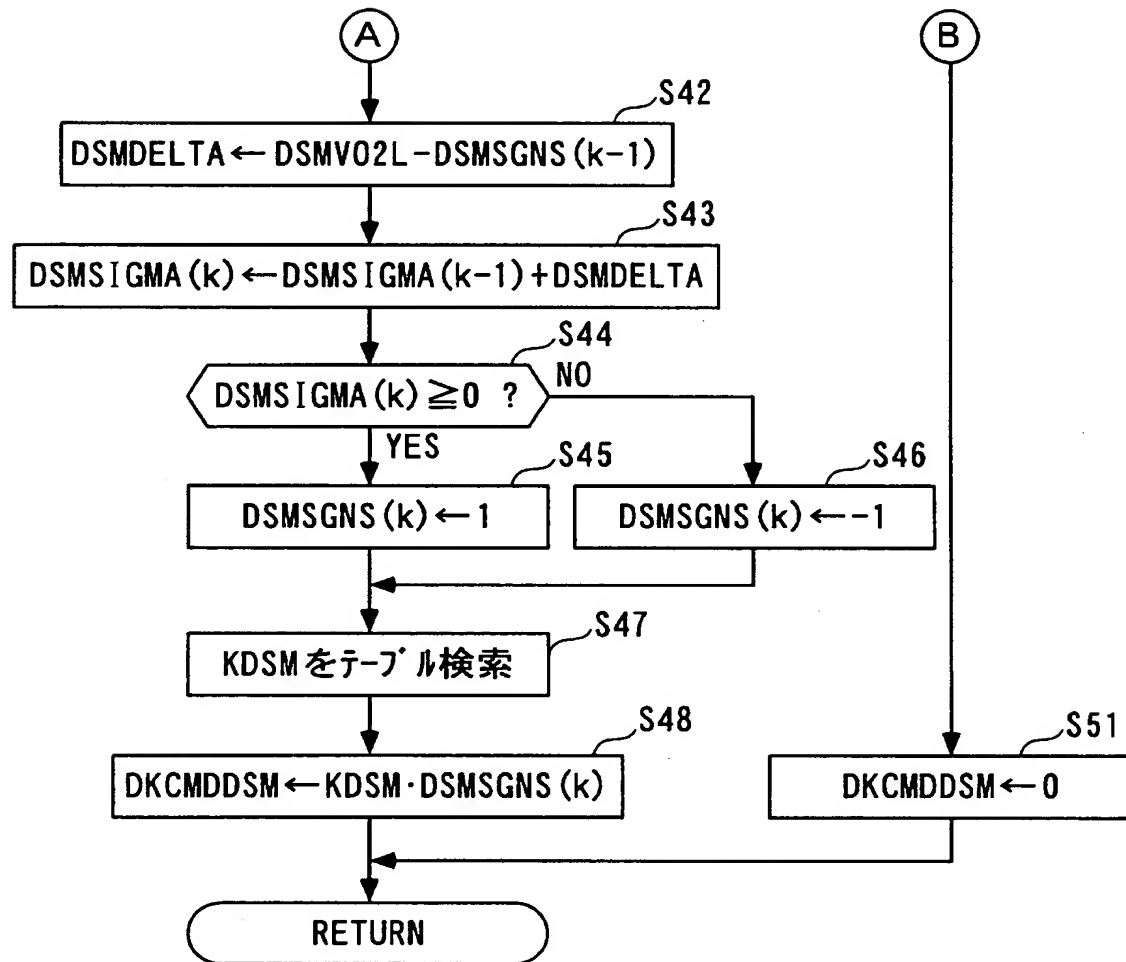
【図 1 5】



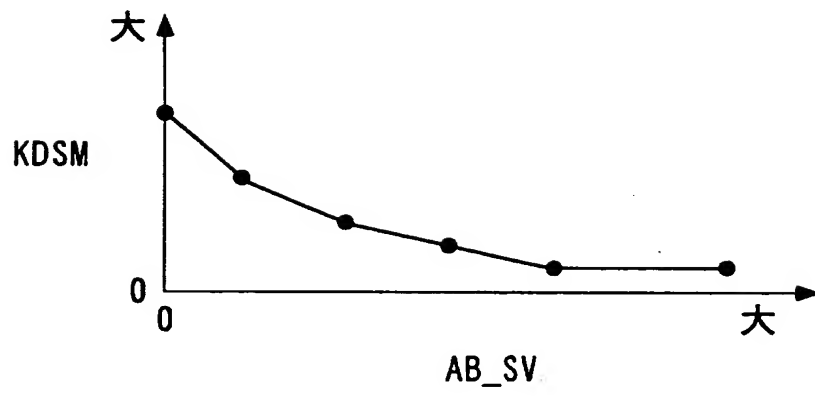
【図 16】



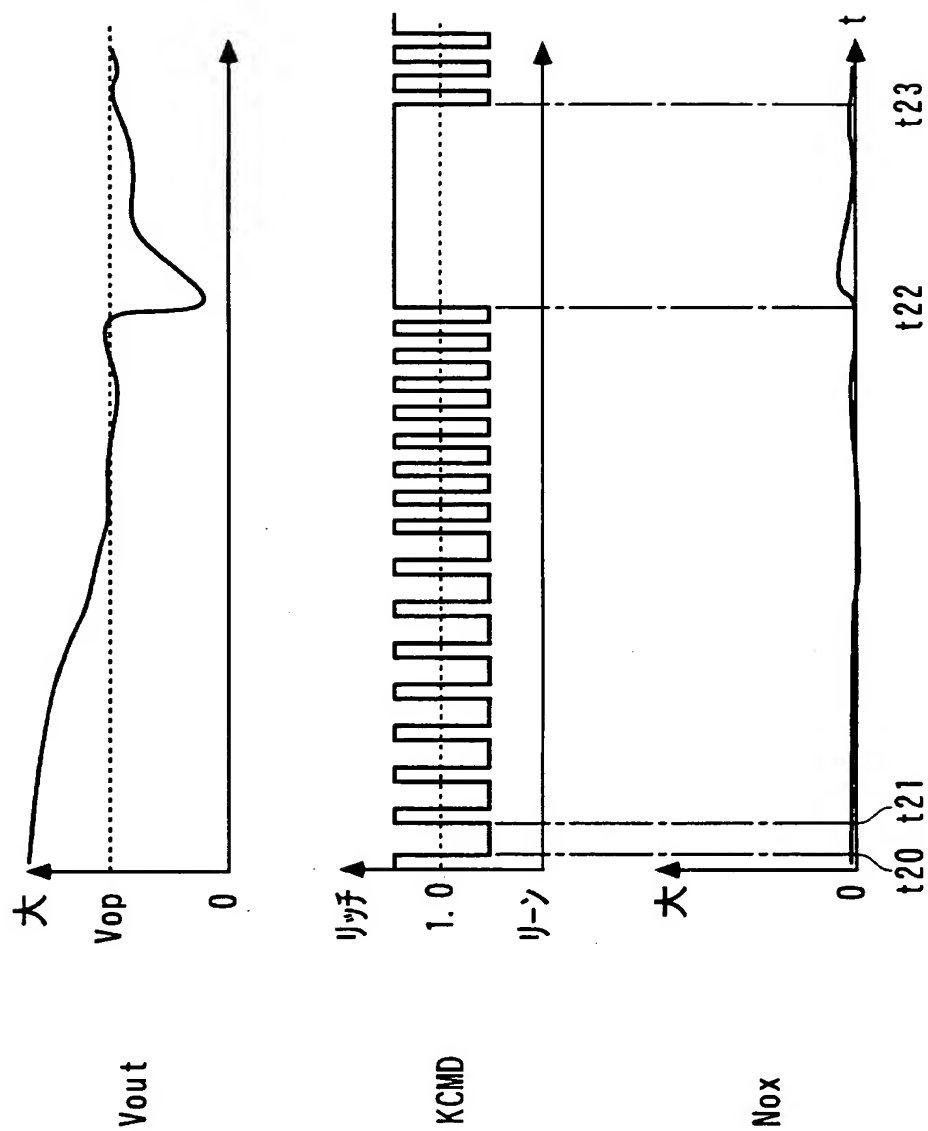
【図 17】



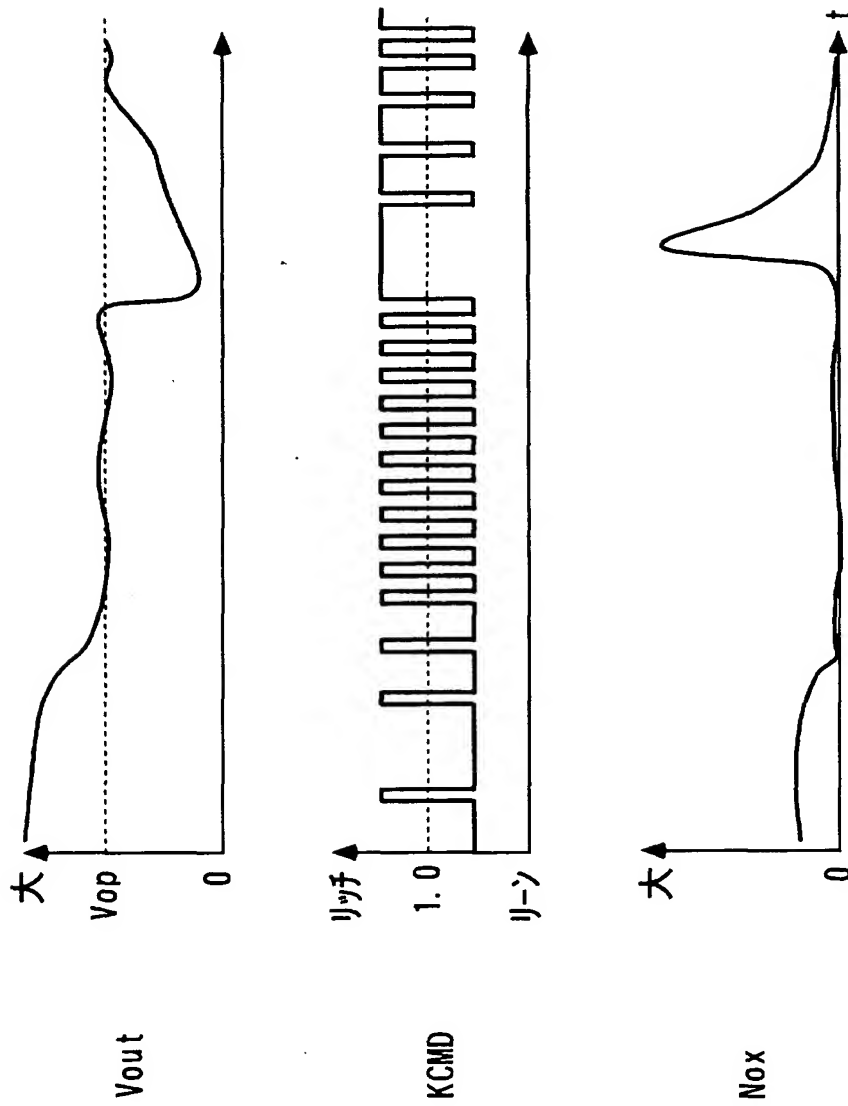
【図 1 8】



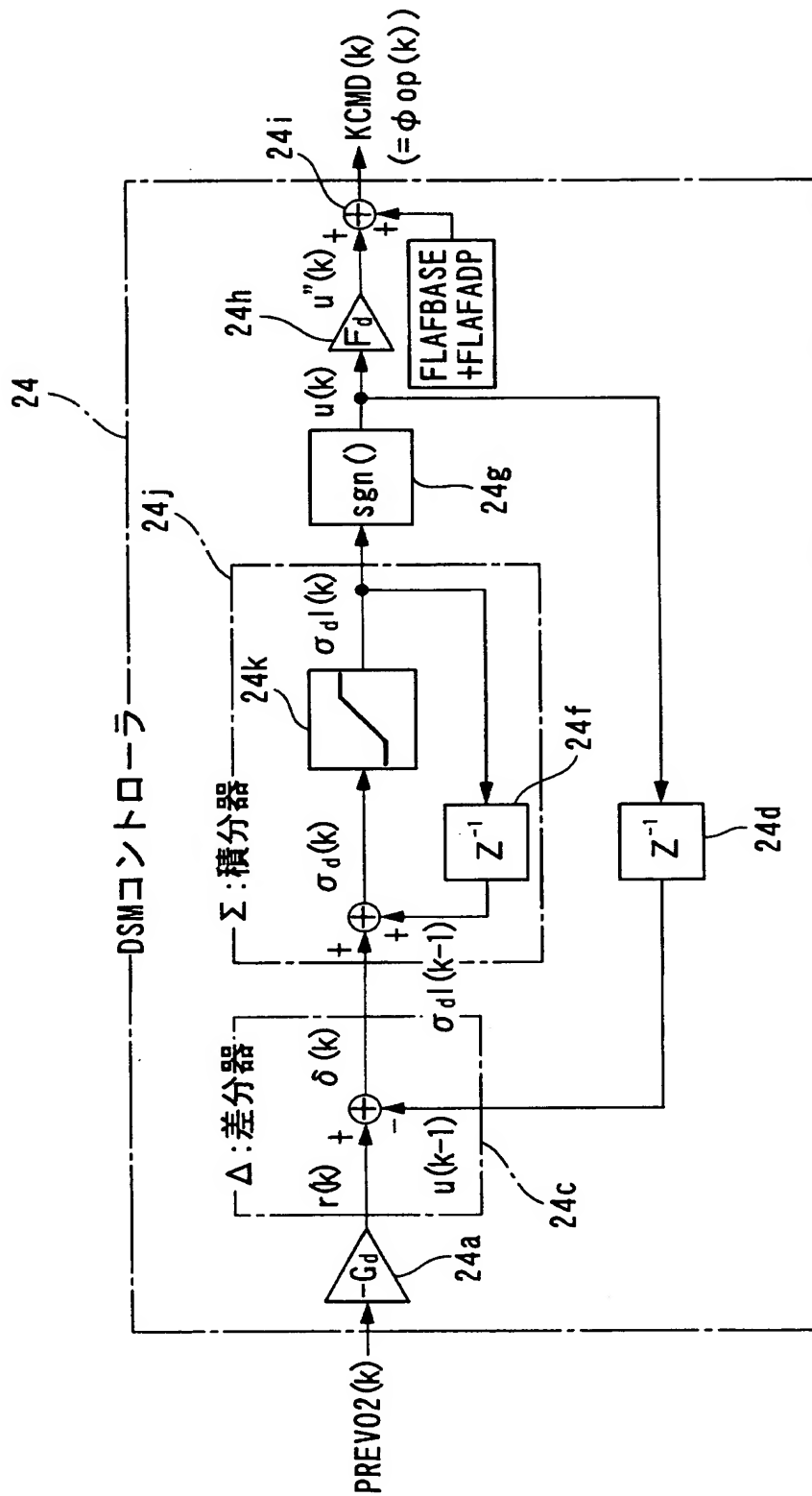
【図 19】



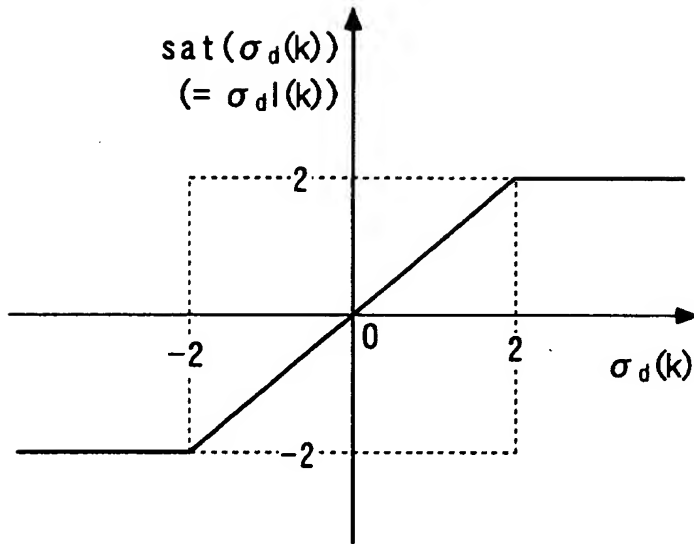
【図 20】



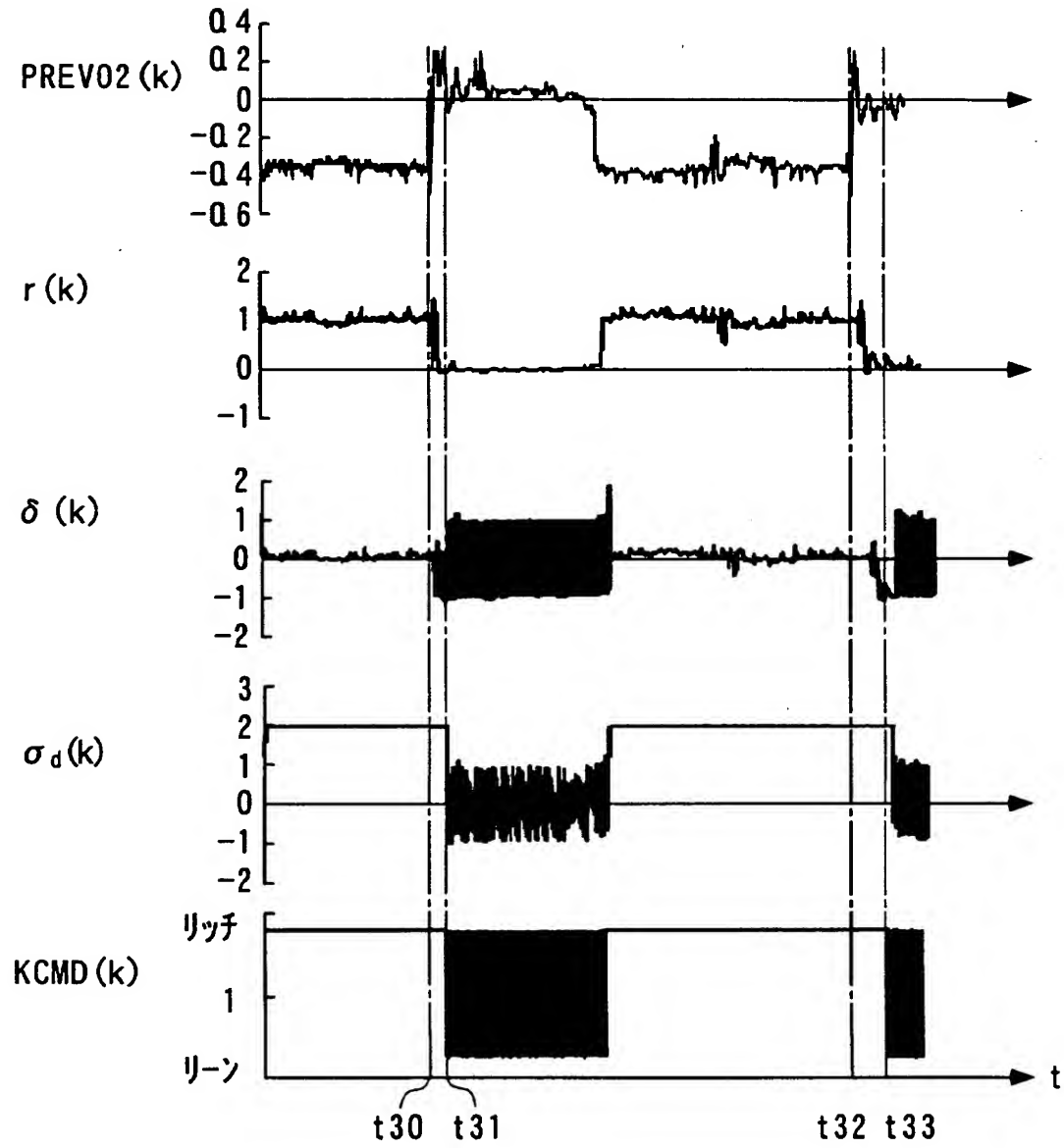
【図21】



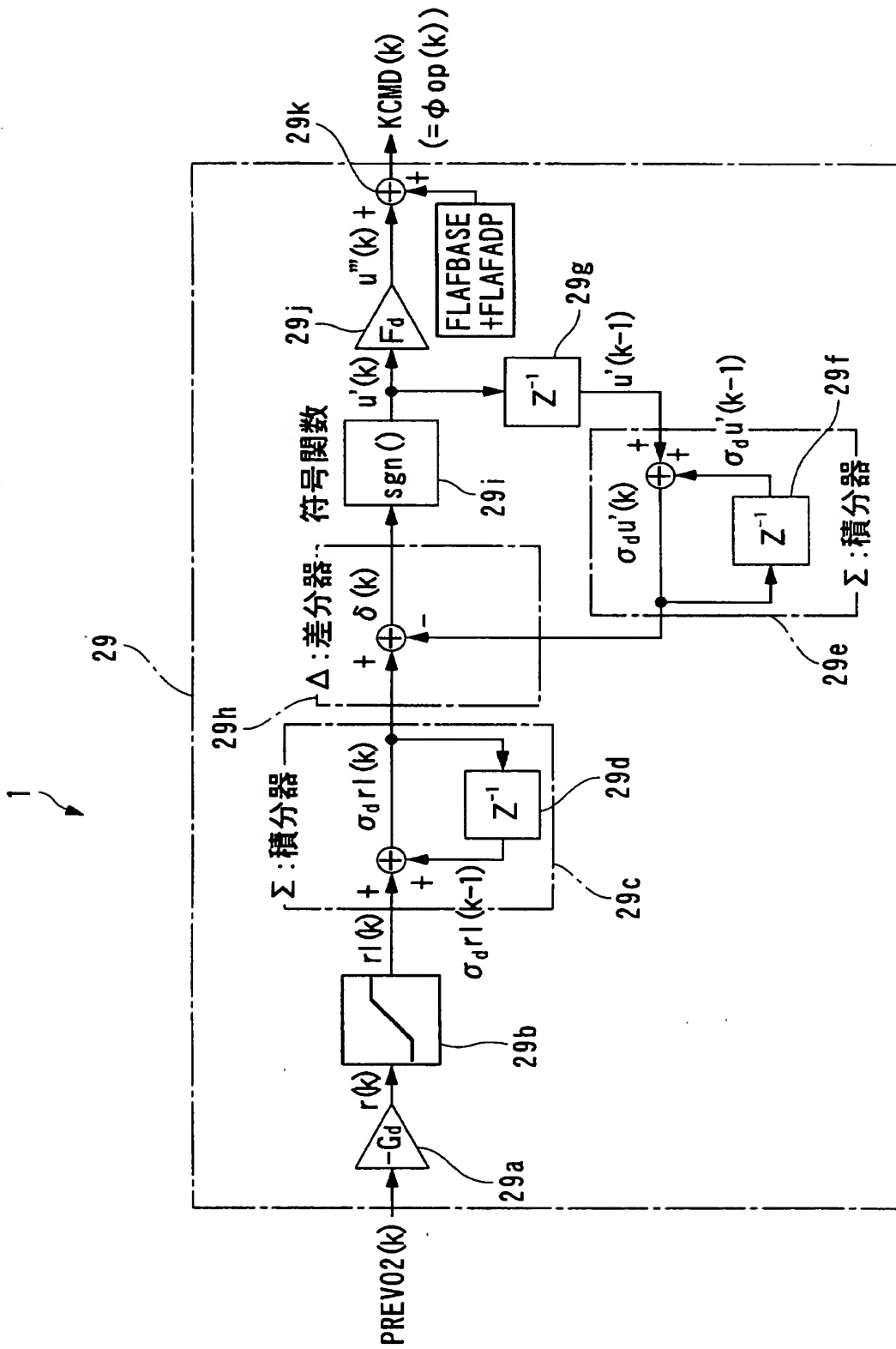
【図 2 2】



【図 23】



【図 24】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】  $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムまたは $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムを用いることにより制御対象を制御する場合において、一方の変調アルゴリズムの入出力間での符号反転の際のむだ時間を低減することができ、制御対象の出力の目標値への収束性を向上させることができ、制御性を向上させることができる制御装置を提供する。

【解決手段】 制御装置1のECU2は、参照入力DSMV02の制限値DSMV02Lを、DSMV02  $< -1$ のときにはDSMV02L =  $-1$ （ステップ38）、 $1 < \text{DSMV02}$ のときにはDSMV02L =  $1$ （ステップ40）、それ以外のときにはDSMV02L = DSMV02（ステップ41）として算出する。そして、この制限値DSMV02Lを、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムに入力することにより、DSM出力DSMSGNSを算出し、DSM出力DSMSGNSに応じて、酸素濃度センサ15の出力Voutを目標値Vopに収束させるように、内燃機関3に供給される混合気の空燃比を制御する（ステップ1～13,25,26）。

【選択図】 図 1 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日	1990年 9月 6日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名	本田技研工業株式会社